

Instituto Politécnico de Tomar

Escola Superior de Tecnologia de Tomar

Luís Carlos Marques Pereira

Patins Eléctricos

Projecto

Orientado por:

Doutor Manuel Fernando Martins de Barros
Doutor Carlos Alberto Farinha Ferreira
Mestre Pedro Manuel Granchinho de Matos

Projecto apresentado ao Instituto Politécnico de Tomar
para cumprimento dos requisitos necessários à obtenção
do grau de Mestre do curso de Mestrado em
Controlo e Electrónica Industrial

Dedico este trabalho aos meus amigos.



RESUMO

O presente relatório é desenvolvido no âmbito da unidade curricular de Projecto do 2º ano do Mestrado em Controlo e Electrónica Industrial e expõe a evolução de um protótipo de patins eléctricos controlados pela inclinação do condutor. Começa-se por fazer uma análise de vários aspectos do protótipo existente. A lógica de controlo é alterada com o propósito de introduzir controlo de corrente nos motores. O programa de interface com o utilizador dos patins é renovado tendo sido introduzidas várias opções, como a configuração do controlador e a de guardar a mesma num ficheiro. São também analisados os encargos inerentes à produção seriada do protótipo. Considerando que se trata de um produto inovador é efectuado um estudo da viabilidade económica do mesmo.

Palavras-chave: Patins eléctricos, Controlo, Produção seriada, Viabilidade económica

ABSTRACT

This report is developed under the curricular unit Project on the 2nd year of the course Master in Industrial Electronics and Control. It exposes the improvements implemented on a prototype electric skates controlled by the slope of the driver. The report begins with an analysis of various aspects on the existing prototype. The control logic goes through some changes within the purpose of introducing current control on motors which was a lack on the previous controller. The program for the user interface is renewed. New options were introduced such as the controller configuration and saving it into a file. Whereas this is an innovative product is also analyzed the costs involved in mass production of the prototype and the economic viability of it.

Keywords: Electric skates, Control, Mass production, Economic viability

AGRADECIMENTOS

Este espaço é dedicado a todos aqueles que deram a sua contribuição para que este projecto fosse concretizado. A todos eles deixo aqui o meu agradecimento sincero.

A principal prejudicada com este projecto foi a minha namorada, a Rita Almeida. A ela devo o meu agradecimento pelo modo como me “aturou” e sempre apoiou nesta caminhada.

À minha mãe, Maria Bento que a custo me apoiou financeiramente e sempre me transmitiu a confiança necessária para chegar aqui.

Ao meu orientador, Professor Doutor Carlos Ferreira, pelo apoio disponibilizado, conselhos e sugestões.

Ao meu orientador, Professor Mestre Pedro Granchinho pela disponibilidade, interesse e forma como orientou o meu trabalho.

Ao meu orientador Professor Doutor Manuel Barros pela orientação e pelas palavras de ânimo com que sempre me apoiou.

Índice

Índice	xiii
Índice de figuras	xvii
Índice de tabelas	xix
Lista de abreviaturas e siglas	xxi
Lista de símbolos	xxiii
1. Introdução	1
2. Análise ao protótipo	3
2.1. Estratégia de controlo inicialmente implementada	3
2.2. Estrutura mecânica	4
2.3. Cadeia de potência	5
3. Modelo do sistema	7
3.1. Modelo do pêndulo 2D	8
3.2. Força tangente à trajectória	14
3.3. Força normal à trajectória	17
3.4. Motor DC e sistema de engrenagens	18
3.5. Sensores do sistema	22
3.5.1 Sensores de força	22
3.5.2. Sonda de corrente	25
3.6. Diagrama de blocos do modelo	26
3.7. Linearização do modelo	32
3.8. Determinação das constantes do motor DC	36
4. Controlo	41
4.1 Controlo de corrente por hardware	41
4.2. Modelo do controlador em Simulink	44
4.3. Programação do microcontrolador	50
5. Software de configuração dos patins	57
5.1 Iniciar o programa	58
5.2. Separador “Abrir/Guardar Definições”	60
5.3. Separador “Controladores”	61
5.4. Separador “Sensores de força”	62

5.5. Separador “Motores”	63
5.6. Separador “Sondas corrente”	64
5.7. Programação da aplicação	65
5.7.1. Eventos desencadeados pelo utilizador	65
5.7.2. Outros eventos	67
6. Caderno de encargos para a produção seriada.....	69
6.1. Objectivos	69
6.2. Características funcionais	70
6.3. Documentação	74
6.4. Formação	75
6.5. Metodologia de desenvolvimento.....	75
Primeira fase.....	75
Segunda fase.....	78
Terceira fase	78
Quarta fase	78
Quinta fase.....	78
7. Viabilidade económica do produto.....	79
7.1. Sumário executivo	79
7.2. Apresentação sumária da empresa	81
7.3. Condicionantes da envolvente externa	81
7.3.1. Aspectos macroeconómicos	81
7.3.2. A actividade da empresa	84
7.3.3. Estádio de maturidade do sector.....	85
7.3.4. Factores externos	85
7.3.5. Síntese de ameaças e oportunidades	90
7.4. Condicionantes da situação interna	90
7.4.1. Lógica evolutiva da empresa/ideia de negócio	90
7.4.2. Caracterização da estrutura e dos recursos da empresa	90
7.4.3. Organização	101
7.4.4. Síntese das condicionantes internas	101
7.5. Análise da utilização do potencial da empresa	102
7.5.1. Determinação da posição concorrencial	102

7.5.2. A condição estratégica: síntese dinâmica das forças e fraquezas.....	104
7.6. Opções estratégicas	105
7.6.1. Objectivos estratégicos.....	105
7.6.2. Estratégias naturais e opções estratégicas.....	105
7.6.3. Os processos de controlo e reavaliação estratégica	106
7.7. Estudo da viabilidade económico-financeira	106
7.7.1. Investimento inicial do projecto.....	106
7.7.2. Fornecimento e serviços externos.....	108
7.7.3. Vendas e custo das mercadorias vendidas	109
7.7.4. Amortizações	111
7.7.5. Gastos com o pessoal	112
7.7.6. Necessidades de fundo de maneo.....	114
7.7.7. Mapa de Tesouraria.....	116
7.7.8. Balanço Previsional.....	119
7.7.9. Cash flow, VAL e TIR	121
Referências.....	125
Lista de Apêndices.....	127
Lista de Anexos	128
Apêndices.....	129
Algoritmo da aplicação de interface com o usuário - Principal.vb	129
Algoritmo de programação do microcontrolador – pic.c	156

Índice de figuras

Figura 1 - Representação dos dois sistemas de pêndulos 2D.....	7
Figura 2 - Modelo do pêndulo 2D	8
Figura 3 - Representação de variáveis no pêndulo (parte 1).....	9
Figura 4 - Representação de variáveis no pêndulo (parte 2).....	11
Figura 5 - Representação da força tangente à trajectória.....	14
Figura 6 - Representação do efeito da massa em cada um dos patins	15
Figura 7 - Representação da força normal à trajectória	17
Figura 8 - Modelo simplificado de um motor DC	18
Figura 9 - Sistema de engrenagens	21
Figura 10 - Representação 3D dos ângulos do modelo.....	22
Figura 11 - Diagrama de blocos leitura dos ângulos	24
Figura 12 - Tensão de saída da sonda em função da corrente no motor.....	25
Figura 13 - Ramo de θ_k	27
Figura 14 - Diagrama de blocos do pêndulo 2D	27
Figura 15 - Diagrama de blocos do motor (parte 1).....	28
Figura 16 - Ramo do motor (parte 2) e engrenagens	29
Figura 17 - Diagrama da força tangente à trajectória	29
Figura 18 - Diagrama da força normal à trajectória.....	30
Figura 19 - Subsistema do cálculo da massa	31
Figura 20 - Linearização de x^2 no intervalo	35
Figura 21 - Gráfico da constante K_e	38
Figura 22 - Gráfico da constante K_t	38
Figura 23 - Circuito de controlo de corrente.....	41
Figura 24 - Placa de controlo de corrente	44
Figura 25 - Diagrama de blocos do controlador	46
Figura 26 - Diagrama de blocos do controlo de corrente.....	49
Figura 27 - Fluxograma da interrupção de tempo.....	51
Figura 28 - Equação de diferenças de θ_k	52
Figura 29 - Equação de diferenças de θ_i	53

Figura 30 - Controlo de corrente num patim	54
Figura 31 - Troca de dados com o PC	55
Figura 32 - Início do programa (1)	58
Figura 33 - Início do programa (2)	59
Figura 34 - Separador “Abrir/Guardar Definições”	60
Figura 35 - Separador "Controladores"	61
Figura 36 - Separador "Sensores de força"	63
Figura 37 - Separador "Motores"	64
Figura 38 - Separador "Sondas corrente"	65
Figura 39 - Rede Pert da produção de patins	71
Figura 40 - Planta das instalações	74
Figura 41 - Produtos concorrentes	89
Figura 42 - Quadro da condição estratégica	104
Figura 43 - Cash flow actualizado	122
Figura 44 - Cash flow acumulado	122

Índice de tabelas

Tabela 1 - Dados do motor.....	37
Tabela 2 - Constantes do motor DC.....	40
Tabela 3 - Ligações externas das portas do microcontrolador.....	50
Tabela 4 - Comparação de funcionalidades	57
Tabela 5 - Tempos das tarefas de montagem dos patins.....	71
Tabela 6 - Distribuição do trabalho pelas bancadas	72
Tabela 7 - Duração do trabalho em cada bancada	72
Tabela 8 - Hipóteses de componentes dos patins	76
Tabela 9 - Componentes das placas de circuito impresso	77
Tabela 10 - Quadro resumo da actividade da empresa	84
Tabela 11 - Quadro de factores externos	90
Tabela 12 - Pontos fortes e fracos.....	96
Tabela 13 - Pontos fortes e fracos.....	99
Tabela 14 - Pontos fortes e fracos.....	100
Tabela 15 - Quadro de factores internos	101
Tabela 16 - Matriz de avaliação dos factores externos (MAFE)	102
Tabela 17 - Matriz de avaliação dos factores internos (MAFI).....	103
Tabela 18 - Investimento inicial	107
Tabela 19 - Fornecimento e serviços externos.....	109
Tabela 20 - Estimativa de unidades vendidas	109
Tabela 21 - Algumas hipóteses de venda.....	110
Tabela 22 - Previsão das receitas de unidades vendidas.....	111
Tabela 23 - Previsão de custos das mercadorias vendidas.....	111
Tabela 24 - Amortizações	112
Tabela 25 - Pressupostos dos gastos com o pessoal	113
Tabela 26 - Gastos com o pessoal.....	113
Tabela 27 - Remuneração bruta mensal.....	114
Tabela 28 - Remuneração bruta anual	114
Tabela 29 - Pressupostos das necessidades de fundo de maneo	114
Tabela 30 - Necessidades de fundo de maneo	115

Tabela 31 - Mapa de tesouraria (parte 1).....	117
Tabela 32 - Mapa de tesouraria (parte 2).....	118
Tabela 33 - Balanço previsional	120
Tabela 34 - Cash Flow	121
Tabela 35 - Indicadores VAL e TIR.....	123

Lista de abreviaturas e siglas

ADC – *Analog to Digital Converter* (Conversor analógico para digital)

AGM – *Absorbent Glass Mat* (electrólito absorvido em mantas de fibra de vidro)

BCE – Banco Central Europeu

BMS – *Battery Management System* (Sistema de gestão das baterias)

CAE – Código das Actividades Económicas

CMVMC – Custo Médio das Mercadorias Vendidas e das Matérias Consumidas

COM – Porta de comunicação serie

DOF – *Degrees Of Freedom* (Graus de liberdade)

FMI – Fundo Monetário Internacional

INE – Instituto Nacional de Estatística

I&D – Investigação e Desenvolvimento

PC – *Personal Computer* (Computador Pessoal)

PCB – *Printed Circuit Board* (Placa de circuito impresso)

PIB – Produto Interno Bruto

PID – Proporcional Integral e Derivativo

PWM – *Pulse Width Modulation* (Modulação por largura de impulso)

RC – Resistivo e Capacitivo

TIR – Taxa Interna de Rentabilidade

VAL – Valor Actual Líquido

Lista de símbolos

$\sum M_P$	.....	Soma de todos os momentos aplicados sobre o ponto P
$m_{pendulo}$	.....	Massa do pêndulo
m_{patim}	.....	Massa de um patim
m_{PE}	.....	Massa transportada pelo patim esquerdo
m_{PD}	.....	Massa transportada pelo patim direito
$m_{penduloPE}$	.....	Componente da massa do pêndulo sobre o patim esquerdo
$m_{penduloPD}$	.....	Componente da massa do pêndulo sobre o patim direito
c_{patins}	.....	Distância entre os sensores do mesmo patim
l_{patins}	.....	Distância entre os patins
d_{PE}	.....	Distância da projecção do centro de massa do pêndulo sobre o plano do solo ao patim esquerdo
d_{PD}	.....	Distância da projecção do centro de massa do pêndulo sobre o plano do solo ao patim direito
$r_{c/p}$	.....	Vector de posição do centro de massa C em relação ao ponto P
a_p	.....	Vector de aceleração no ponto P
v_{px}	.....	Velocidade em P segundo o eixo das abcissas (\dot{x})
a_{px}	.....	Componente do vector de aceleração no ponto P segundo o eixo das abcissas
a_{cx}	.....	Componente do vector de aceleração no ponto C segundo o eixo das abcissas
$(a_{c/p})_x$	.....	Componente do vector de aceleração do ponto C em relação ao ponto P segundo o eixo das abcissas
I_p	.....	Momento de inercia sobre o ponto P
I_c	.....	Momento de inercia sobre o ponto C
α	.....	Aceleração angular

ω	Velocidade angular
θ	Ângulo
$\dot{\theta}$	Velocidade angular do ângulo θ
$\ddot{\theta}$	Aceleração angular do ângulo θ
θ_k	Ângulo em torno do eixo k
$\dot{\theta}_k$	Velocidade angular de θ_k
$\ddot{\theta}_k$	Aceleração angular de θ_k
θ_i	Ângulo em torno do eixo i
$\dot{\theta}_i$	Velocidade angular de θ_i
$\ddot{\theta}_i$	Aceleração angular de θ_i
ϕ	Ângulo complementar do angulo θ
x	Deslocamento em x
\dot{x}	Velocidade em x
\ddot{x}	Aceleração em x
z	Deslocamento em z
\dot{z}	Velocidade em z
\ddot{z}	Aceleração em z
h	Altura do condutor
g	Aceleração da gravidade
R	Distancia ao raio da curvatura
F	Força aplicada
$F_x(t)$	Força aplicada no sentido do vector unitário x
$F_z(t)$	Força aplicada no sentido do vector unitário z
$F_{PEx}(t)$	Força resultante do patim esquerdo no sentido do vector unitário x
$F_{PDx}(t)$	Força resultante do patim direito no sentido do vector unitário x
F_{PEz}	Soma das forças aplicadas sobre os sensores de força do patim esquerdo
F_{PDz}	Soma das forças aplicadas sobre os sensores de força do patim direito

F_{FE}	Força aplicada no sensor da frente do patim esquerdo
F_{FD}	Força aplicada no sensor da frente do patim direito
F_{TE}	Força aplicada no sensor traseiro do patim esquerdo
F_{TD}	Força aplicada no sensor traseiro do patim direito
$a_{PEx}(t)$	Aceleração do patim esquerdo
$a_{PDx}(t)$	Aceleração do patim direito
$v_{PEx}(t)$	Velocidade do patim esquerdo
$v_{PDx}(t)$	Velocidade do patim direito
R_a	Resistência equivalente da armadura do motor
L_a	Indutância equivalente da armadura do motor
v_a	Tensão aplicada ao motor
i_a	Intensidade de corrente do motor
v_{Ra}	Tensão na resistência R_a
v_{La}	Tensão na bobina L_a
e_{fem}	Força electromotriz
K_e	Constante da força electromotriz do motor
K_t	Constante de binário do motor
b_{motor}	Coefficiente de atrito viscoso do veio do motor
n_0	Número de dentes da engrenagem do sem fim
n_1	Número de dentes da engrenagem do sistema de correia do eixo intermédio
n_2	Número de dentes da engrenagem do sistema de correia do eixo de tracção
η_{semfim}	Rendimento do sistema de engrenagens do sem fim
$\eta_{correia}$	Rendimento do sistema de engrenagens de correia
T	Binário do motor
T_2	Binário no eixo da roda de tracção
T_L	Binário da carga aplicada ao motor

ω_{motor}	Velocidade angular do motor
ω_1	Velocidade angular no eixo intermédio
ω_2	Velocidade angular no eixo de tracção
J	Momento de inercia
r_{roda}	Raio da roda de tracção
v_{sonda}	Tensão de saída da sonda de corrente
i_{sonda}	Corrente no primário da sonda de corrente
v_{ADC}	Tensão à entrada do ADC
n_{ADC}	Leitura do ADC
v_{aE}	Tensão aplicada ao motor do patim do lado esquerdo
v_{aD}	Tensão aplicada ao motor do patim do lado direito
$comp_{tangencial}$..	Componente de controlo resultante do controlador tangencial
$comp_{normal}$	Componente de controlo resultante do controlador normal
$comp_{corrente}$	Componente de controlo resultante do controlador de corrente
f_c	Frequência de corte do filtro RC
R	Resistência do filtro RC
C	Capacidade do condensador do filtro RC

1. Introdução

O presente relatório enquadra-se na área da mobilidade de pessoas e apresenta o desenvolvimento de um sistema de comando dos patins de forma intuitiva. Para conduzir os patins o condutor deve inclinar-se para o lado que pretende seguir não sendo necessário utilizar as mãos. O controlador actua sobre a tensão aplicada aos motores com base na leitura de seis sensores, onde quatro são de força e dois de intensidade de corrente. Através dos sensores de força é possível saber a inclinação do condutor e as sondas de corrente permitem proteger o equipamento. É um projecto inovador a vários aspectos, o principal é que não existe no mercado um produto com características idênticas e também não são conhecidos estudos de casos parecidos. Considera-se um produto de elevado interesse económico não só devido às constantes subidas do preço do petróleo, mas também, porque será impossível manter o crescimento do número de veículos de automóveis que se verificado nos últimos anos nas grandes cidades. Esta solução tem ainda a vantagem de não emitir gases nocivos no meio onde circula.

O presente projecto teve o seu início no ano de 2011 no âmbito de um projecto de Licenciatura em Engenharia Electrotécnica e de Computadores da Escola Superior de Tecnologia de Tomar do Instituto Politécnico de Tomar. No presente ano lectivo foi continuado o seu desenvolvimento no âmbito de projecto final do Mestrado em Controlo e Electrónica Industrial, curso leccionado na mesma escola.

No início desta fase já existia um protótipo funcional contendo, no entanto, algumas imperfeições, tanto ao nível mecânico como do controlador. Nesta fase, o trabalho no protótipo centrou-se principalmente em melhorar o controlo existente e na interface de configuração dos patins por parte do utilizador comum. No sentido de uma possível produção em serie do sistema é elaborado um caderno de encargos e uma possível análise da viabilidade económica do produto.

2. Análise ao protótipo

2.1. Estratégia de controlo inicialmente implementada

A estratégia de controlo inicialmente implementada tinha em conta apenas a leitura dos sensores de força dos patins. A partir destes sensores eram gerados dois sinais de erro. Cada um destes sinais era filtrado num controlador do tipo PID discreto criando duas componentes de controlo. O sinal de comando do motor de cada patim era criado através destas duas componentes onde uma se encarregava da componente tangencial à trajectória e outra da viragem ao criar um diferencial na tensão aplicada a cada motor. Este controlador apresentava algumas lacunas, principalmente ao nível do controlo da intensidade de corrente nos motores dos patins. Os testes iniciais foram executados com alimentação fornecida por fontes de corrente que incluíam este controlo impedindo que a corrente ultrapassasse os 8A. No primeiro dia de testes com a alimentação por baterias não houve danos derivados da existência de correntes excessivas. No segundo dia, um encravamento mecânico do eixo de tracção do patim esquerdo levou a que correntes elevadas arruinassem os transístores MOSFET da placa de potência. Como já era previsível, seria necessário implementar o controlo da corrente. Outra situação onde o controlador não respondia bem era quando se levantava um dos pés do chão. Nesta situação o patim que se encontrava no chão reduzia a sua velocidade ao passo que o patim que estava no ar começava a rodar mais depressa. Isto acontecia devido à componente de controlo encarregue da viragem que considerava que o corpo do condutor estava todo inclinado para o lado do patim que está no chão. Obviamente que do ponto de vista da condução, este comportamento do controlador não é o mais apropriado.

2.2. Estrutura mecânica

Ao nível da estrutura mecânica existem alguns aspectos que carecem de intervenção e o seu todo envolve a construção de um novo protótipo praticamente de raiz. A estrutura de base deve ser maior, de forma ter espaço para acomodar no seu interior as baterias. O sistema de tracção deve ainda ser revisto com vista à utilização de um novo motor de maior potência. A tracção deve ser nas duas rodas traseiras de cada patim e não apenas na exterior.

Inicialmente pensou-se que seria mais vantajoso colocar a tracção apenas na roda exterior, permitindo corrigir a rota com a roda interior. O facto é que a tracção apenas numa das rodas obriga a um esforço acrescido para o condutor manter o patim direito, funcionando ao contrário do previsto.

O sistema de freios no eixo de tracção para fixar os diversos componentes não oferece a robustez necessária, resultando em peças que saem do local conduzindo a desalinhamentos do sistema de engrenagens e possível encravamento do eixo de tracção. As bolachas de fixação das rodas de tracção devem ser mais estreitas e portanto mais leves. O peso é uma variável importante a ter em conta em todos os dimensionamentos mecânicos efectuados pois terá um forte impacto no resultado final.

A integração dos sensores de força na estrutura é um dos pontos positivos, este permite que o condutor incline o pé lateralmente o suficiente para as diversas manobras, mantendo a leitura das forças aplicadas. Um ponto negativo dos sensores de força é ao nível do seu limite da escala de medida, obrigando por vezes os sensores a trabalhar fora da zona elástica, provocando algumas variações no *offset* dos sensores. Esta situação não provoca problemas no controlo dos patins, é isso sim, um problema de robustez do protótipo porque pode danificar permanentemente os sensores. Idealmente dever-se-ia substituir os extensómetros por outros com um limite de escala com o dobro do valor ou utilizar sensores piezoeléctricos que não apresentam este problema quando trabalham fora da sua escala, apresentando apenas o seu valor saturado.

2.3. Cadeia de potência

Ao nível da estrutura mecânica existem algumas deficiências que necessitam de intervenção. A primeira é ao nível do motor (tal como foi já referido), o motor utilizado apresenta uma baixa potência útil. Além disso, o rendimento é baixo (inferior a 50% segundo o ficheiro 2008FRC_Van_Door_Motor_Spec.pdt em anexo) devido ao sistema de engrenagens interno de 64:1 do tipo parafuso sem fim. Ora, é impensável manter rendimentos tão baixos ao nível do motor num sistema onde a autonomia é um factor crítico de sucesso. As baterias são outra questão pertinente. A tecnologia das baterias de lítio oferece uma densidade de energia por peso superior às restantes. Comparando as duas baterias apresentadas no plano de negócios com as características de 24v e 15A·h, a de lítio com tecnologia LiFePO4 pesa 3,7Kg, a de tecnologia AGM pesa 4,3Kg. O ponto negativo das baterias de lítio é o preço, cerca de seis vezes superior. No entanto, apresentam vantagens ao nível do ciclo de vida que também é aproximadamente seis vezes superior. Analisando os pros e contras dos dois tipos de baterias, as baterias de lítio apresentam mais vantagens no longo prazo. Seja qual for a decisão final do investidor é importante ter em conta que esta opção conduz a um elevado preço do produto. Deve ainda chamar-se a atenção para o facto de que deve ser utilizado um sistema de BMS para gestão das baterias garantindo que estas funcionam sempre dentro dos parâmetros indicados pelo fornecedor e garantido assim a sua correcta utilização.

3. Modelo do sistema

O modelo do sistema geral do sistema considera o condutor como dois pêndulos invertidos que operam sobre eixos perpendiculares entre si.

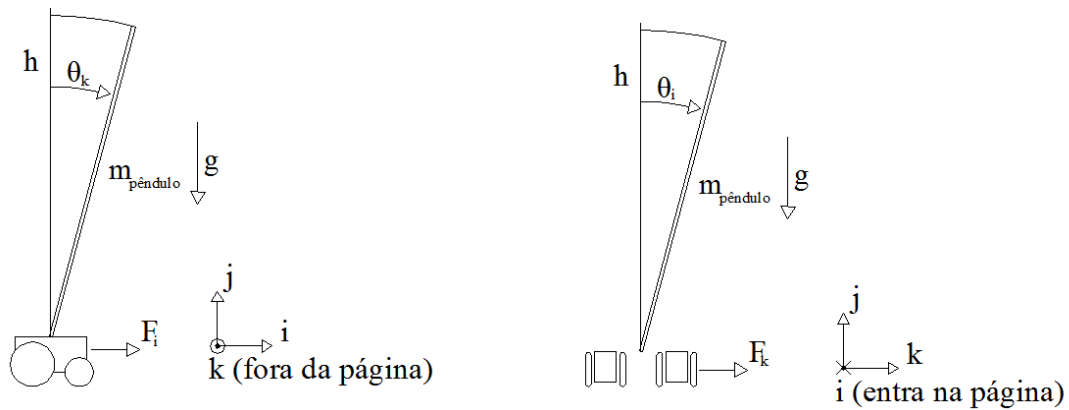


Figura 1 - Representação dos dois sistemas de pêndulos 2D

Considera-se que na base de cada pêndulo é aplicada uma força que impõe uma velocidade nos patins. Este modelo considera que os patins funcionam normalmente paralelos entre si. As leituras dos quatro sensores de força serão convertidas em dois ângulos que serão uma das variáveis deste modelo. Este modelo não contempla a situação em que se levanta um dos pés. Assistem como referências a este capítulo a [1], [2] e [5].

3.1. Modelo do pêndulo 2D

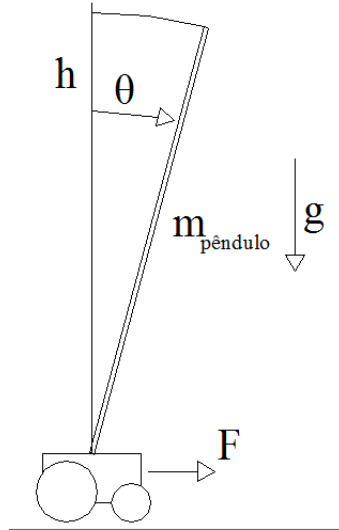


Figura 2 - Modelo do pêndulo 2D

O modelo utilizado para o sistema baseia-se no controlo de um pêndulo invertido com uma componente rotacional e outra translacional com dois DOF (*Degrees Of Freedom*). A equação do sistema rotacional é obtida a partir da equação geral do movimento apresentada de seguida.

$$\sum M_p = I_p \cdot \alpha + m_{pendulo} \cdot r_{c/p} \times a_p \quad (1)$$

Onde,

h representa a altura do condutor

θ é o ângulo do condutor em relação à perpendicular ao solo

F é a força aplicada nos patins

g representa a aceleração da gravidade

$\sum M_p$ é a soma de todos os momentos aplicados sobre o ponto P

I_p representa o momento de inércia sobre o ponto P

α é a aceleração angular

$m_{pendulo}$ é a massa do pêndulo

a_p é o vector de aceleração no ponto P

$r_{c/p}$ é o vector de posição do centro de massa C em relação ao ponto P

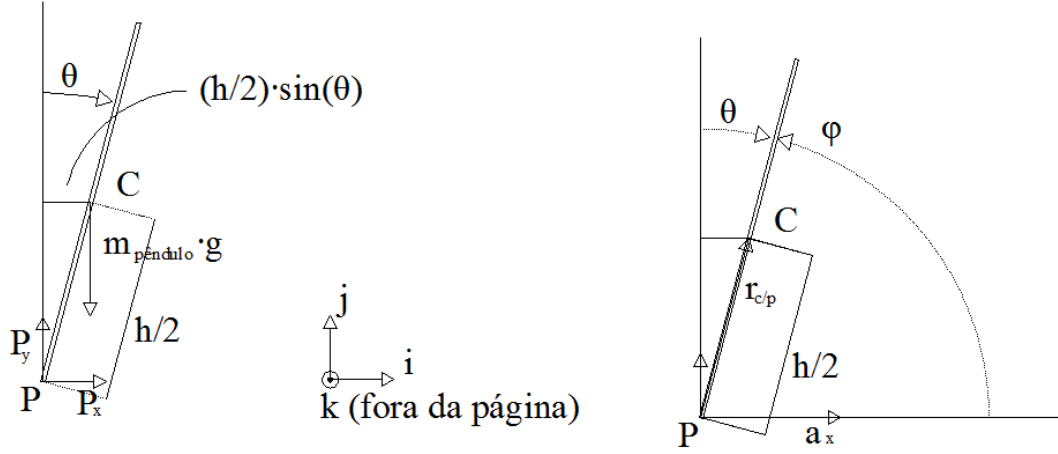


Figura 3 - Representação de variáveis no pêndulo (parte 1)

O produto vectorial da equação anterior é calculado da seguinte forma:

$$r_{c/p} \times a_p = |r_{c/p}| \cdot |a_p| \cdot \sin(\phi) \quad (2)$$

$$r_{c/p} \times a_p = |r_{c/p}| \cdot |a_p| \cdot \cos(\theta) \quad (3)$$

$$r_{c/p} \times a_p = \frac{h}{2} \cdot |a_p| \cdot \cos(\theta) \quad (4)$$

Então a equação do momento fica na seguinte forma:

$$\frac{h}{2} \cdot \sin(\theta) \cdot m_{pendulo} \cdot g \cdot (-\hat{k}) = I_p \cdot \alpha \cdot (-\hat{k}) + m_{pendulo} \cdot \frac{h}{2} \cdot a_p \cdot \cos(\theta) \cdot (-\hat{k}) \quad (5)$$

Cancelando o vector unitário, \hat{k} , a equação fica:

$$\frac{h}{2} \cdot \sin(\theta) \cdot m_{pendulo} \cdot g = I_p \cdot \alpha + m_{pendulo} \cdot \frac{h}{2} \cdot a_p \cdot \cos(\theta) \quad (6)$$

O momento de inercia, I_p , é dado pela equação (7).

$$I_p = I_c + m_{pendulo} \cdot \left| r_{c/p} \right|^2 \quad (7)$$

Considera-se que a massa do pêndulo se encontra distribuída sobre uma haste fina e uniforme, assim o momento de inercia I_c é dado por,

$$I_c = \frac{1}{12} m_{pendulo} \cdot h^2 \quad (8)$$

Então,

$$I_p = \frac{1}{12} m_{pendulo} \cdot h^2 + m_{pendulo} \cdot \left(\frac{h}{2} \right)^2 \quad (9)$$

$$I_p = m_{pendulo} \cdot h^2 \cdot \left(\frac{1}{12} + \frac{1}{4} \right) \quad (10)$$

$$I_p = \frac{1}{3} \cdot m_{pendulo} \cdot h^2 \quad (11)$$

Considere-se a próxima imagem para a parte translacional do sistema.

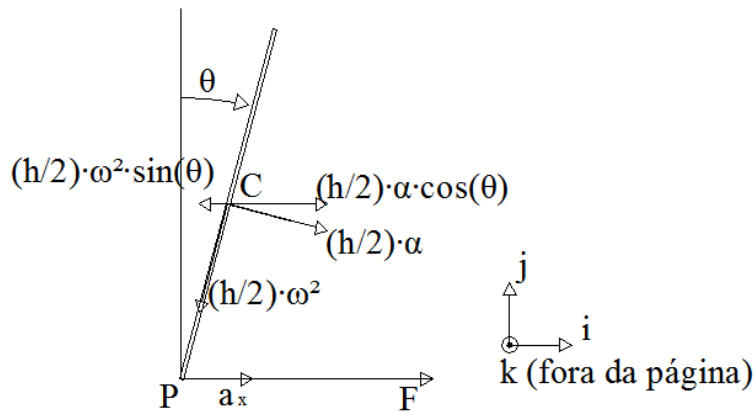


Figura 4 - Representação de variáveis no pêndulo (parte 2)

Analisa-se a parte transaccional do sistema do pendulo partindo da segunda lei de Newton.

$$F = 2 \cdot m_{patim} \cdot a_{px} + m_{pendulo} \cdot a_{cx} \quad (12)$$

Neste caso a aceleração a_{cx} é dada pela seguinte equação

$$a_{cx} = a_{px} + (a_{c/p})_x \quad (13)$$

Onde a aceleração $(a_{c/p})_x$ é dada por

$$(a_{c/p})_x = \frac{h}{2} \cdot \alpha \cdot \cos(\theta) - \frac{h}{2} \cdot \omega^2 \cdot \sin(\theta) \quad (14)$$

Então

$$F = 2 \cdot m_{patim} \cdot a_{px} + m_{pendulo} \cdot \left(a_{px} + \frac{h}{2} \cdot \alpha \cdot \cos(\theta) - \frac{h}{2} \cdot \omega^2 \cdot \sin(\theta) \right) \quad (15)$$

Pode reescrever-se as equações do sistema (6) e (15) com base nas seguintes quatro relações

$$\omega = \dot{\theta} \quad (16)$$

$$\alpha = \ddot{\theta} \quad (17)$$

$$v_{px} = \dot{x} \quad (18)$$

$$a_{px} = \ddot{x} \quad (19)$$

As equações do sistema ficam então na seguinte forma:

$$I_p \cdot \ddot{\theta} + m_{pendulo} \cdot \frac{h}{2} \cdot \cos(\theta) \cdot \ddot{x} - \frac{h}{2} \cdot m_{pendulo} \cdot g \cdot \sin(\theta) = 0 \quad (20)$$

$$(2 \cdot m_{patim} + m_{pendulo}) \cdot \ddot{x} + m_{pendulo} \cdot \frac{h}{2} \cdot \cos(\theta) \cdot \ddot{\theta} - m_{pendulo} \cdot \frac{h}{2} \cdot \dot{\theta}^2 \cdot \sin(\theta) = F(t) \quad (21)$$

As equações da dinâmica do pêndulo consideram que este se encontra apoiado num único ponto, de facto tal não é o caso. O condutor, considerado como pêndulo no modelo, encontra-se apoiado sobre quatro pontos onde se encontram os sensores de força. O pêndulo invertido é um sistema que sem malha de realimentação é naturalmente instável. O modelo do condutor não será instável, visto que, o condutor se conseguirá manter de pé se não houver nenhuma acção do controlador. Assim, é eliminada da equação do pêndulo a componente que lhe confere a instabilidade por acção da força da gravidade porque o condutor se equilibra em termos estáticos mantendo o centro de massa dentro da área interna ao conjunto dos sensores de forma a não cair. A equação do sistema rotacional fica então resumida à próxima equação.

$$I_p \cdot \ddot{\theta} + m_{pendulo} \cdot \frac{h}{2} \cdot \cos(\theta) \cdot \ddot{x} = 0 \quad (22)$$

Na obtenção do modelo dos patins assume-se que o condutor se pode caracterizar por dois pêndulos distintos sobre dois planos perpendiculares entre si. O primeiro pêndulo é segundo o plano formado entre a recta perpendicular ao solo e a tangente à trajectória, o segundo pêndulo é segundo o plano formado pela recta perpendicular ao solo e a perpendicular à trajectória. Assim, utiliza-se duas vezes o modelo obtido para um pêndulo com dois DOF.

Para o plano tangente à trajectória consideram-se as seguintes equações do sistema.

$$I_p \cdot \ddot{\theta}_k + m_{pendulo} \cdot \frac{h}{2} \cdot \cos(\theta_k) \cdot \ddot{x} = 0 \quad (23)$$

$$(2 \cdot m_{patim} + m_{pendulo}) \cdot \ddot{x} + m_{pendulo} \cdot \frac{h}{2} \cdot \cos(\theta_k) \cdot \ddot{\theta}_k - m_{pendulo} \cdot \frac{h}{2} \cdot \dot{\theta}_k^2 \cdot \sin(\theta_k) = F_x(t) \quad (24)$$

No plano perpendicular à trajectória consideram-se as seguintes equações do sistema.

$$I_p \cdot \ddot{\theta}_i + m_{pendulo} \cdot \frac{h}{2} \cdot \cos(\theta_i) \cdot \ddot{z} = 0 \quad (25)$$

$$(2 \cdot m_{patim} + m_{pendulo}) \cdot \ddot{z} + m_{pendulo} \cdot \frac{h}{2} \cdot \cos(\theta_i) \cdot \ddot{\theta}_i - m_{pendulo} \cdot \frac{h}{2} \cdot \dot{\theta}_i^2 \cdot \sin(\theta_i) = F_z(t) \quad (26)$$

3.2. Força tangente à trajectória

A força $F_x(t)$ é determinada pelo modelo apresentado.

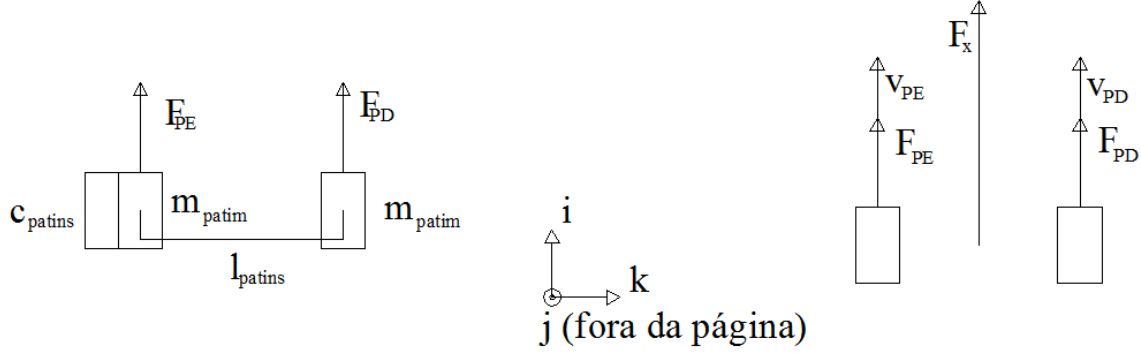


Figura 5 - Representação da força tangente à trajectória

Onde,

m_{patim} é a massa de um patim

l_{patins} é a distância entre os patins

c_{patins} é a distância entre os sensores do mesmo patim

F_{PE_x} é a força aplicada no patim esquerdo no sentido do vector unitário i

F_{PD_x} é a força aplicada no patim direito no sentido do vector unitário i

v_{PE} é a velocidade do patim esquerdo

v_{PD} é a velocidade do patim direito

Considera-se que existe uma força aplicada em cada patim, assim a força $F_x(t)$ é a força resultante das duas forças aplicadas.

$$F_x(t) = F_{PE_x}(t) + F_{PD_x}(t) \quad (27)$$

Considerando que

$$F_{PE_x}(t) = m_{PE} \cdot a_{PE_x}(t) \quad (28)$$

$$F_{PD_x}(t) = m_{PD} \cdot a_{PD_x}(t) \quad (29)$$

Então,

$$F_x(t) = m_{PE} \cdot \dot{v}_{PE_x} + m_{PD} \cdot \dot{v}_{PD_x} \quad (30)$$

Para introduzir no modelo é necessário saber a massa que exerce o seu efeito em cada um dos patins com base numa das variáveis de estado do modelo.

Considere-se a próxima figura.

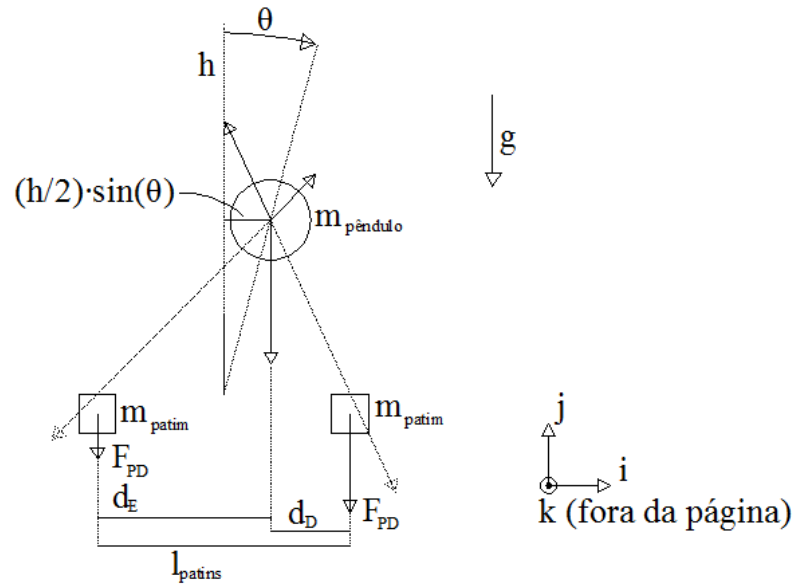


Figura 6 - Representação do efeito da massa em cada um dos patins

Onde,

F_{PE} é a força aplicada verticalmente no patim esquerdo

F_{PD} é a força aplicada verticalmente no patim direito

A massa transportada por cada patim é igual à soma da massa de um patim com uma parte da massa do pêndulo que se encontra sobre esse patim.

$$m_{PE} = m_{patim} + m_{pendulo_{PE}} \quad (31)$$

$$m_{PD} = m_{patim} + m_{pendulo_{PD}} \quad (32)$$

As componentes da massa do pêndulo são dadas pelas seguintes equações

$$m_{pendulo_{PE}} = m_{pendulo} \cdot \frac{d_{PD}}{l_{patins}} \quad (33)$$

$$m_{pendulo_{PD}} = m_{pendulo} \cdot \frac{d_{PE}}{l_{patins}} \quad (34)$$

Onde as distâncias da projecção do centro de massa sobre o plano do solo à perpendicular com o sentido dos patins são dadas pelas seguintes equações.

$$d_{PE} = \frac{l_{patins}}{2} + \frac{h}{2} \cdot \sin(\theta_i) \quad (35)$$

$$d_{PD} = \frac{l_{patins}}{2} - \frac{h}{2} \cdot \sin(\theta_i) \quad (36)$$

Assim, a massa transportada por cada patim pode ser escrita segundo as seguintes equações (37) e (38).

$$m_{PE} = m_{patim} + \frac{m_{pendulo}}{2 \cdot l_{patins}} \cdot (l_{patins} - h \cdot \sin(\theta_i)) \quad (37)$$

$$m_{PD} = m_{patim} + \frac{m_{pendulo}}{2 \cdot l_{patins}} \cdot (l_{patins} + h \cdot \sin(\theta_i)) \quad (38)$$

3.3. Força normal à trajectória

A força $F_z(t)$ é a força normal à trajectória e depende da velocidade de cada patim.

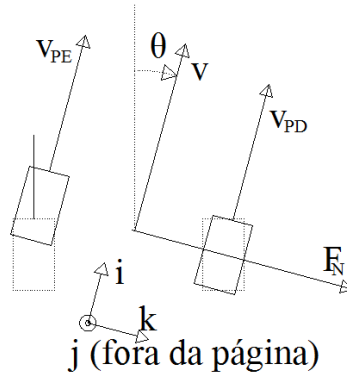


Figura 7 - Representação da força normal à trajectória

$$F_z(t) = (m_{pendulo} + 2 \cdot m_{patim}) \cdot \omega^2 \cdot R \quad (39)$$

A velocidade angular que o condutor efectua em torno do eixo perpendicular ao solo pode ser escrita segundo as duas próximas equações:

$$\omega = \frac{v_{PEx} - v_{PDx}}{l_{patins}} \quad (40)$$

$$\omega = \frac{v}{R} \quad (41)$$

Considera-se que a velocidade do condutor é a média da velocidade dos patins.

$$v = \frac{v_{PEx} + v_{PDx}}{2} \quad (42)$$

Então a força tangente à trajectória é dada pela seguinte forma

$$F_z(t) = (m_{pendulo} + 2 \cdot m_{patim}) \cdot \frac{v_{PEx} - v_{PDx}}{l_{patins}} \cdot \frac{v_{PEx} + v_{PDx}}{2} \quad (43)$$

$$F_z(t) = \left(\frac{m_{pendulo} + 2 \cdot m_{patim}}{2 \cdot l_{patins}} \right) \cdot (v_{PEx}^2 - v_{PDx}^2) \quad (44)$$

3.4. Motor DC e sistema de engrenagens

Na continuação do modelo do sistema é necessário analisar o motor e o sistema de engrenagens utilizado. O motor é de corrente contínua e considera-se o modelo simplificado apresentado na Figura 8.

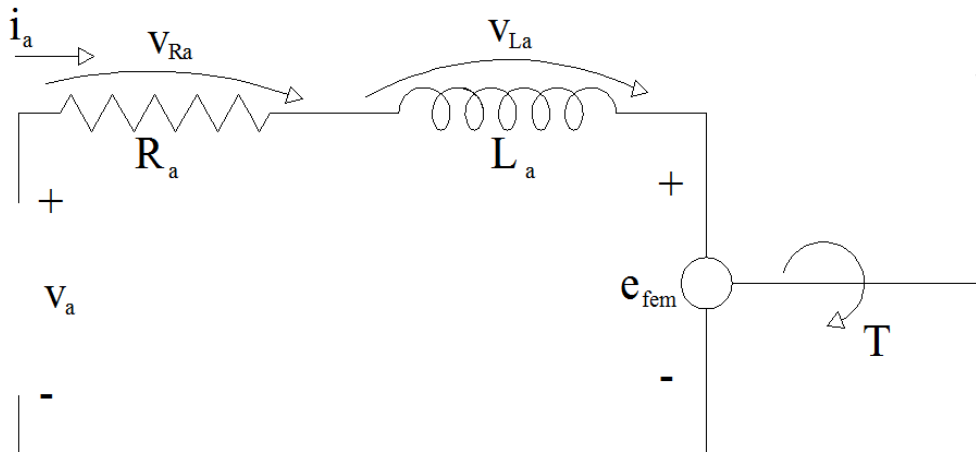


Figura 8 - Modelo simplificado de um motor DC

Por aplicação da lei das malhas chega-se à seguinte equação.

$$v_{Ra} + v_{La} + e_{fem} - v_a = 0 \quad (45)$$

Onde,

$$v_{Ra} = R_a \cdot i_a \quad (46)$$

$$v_{La} = L_a \cdot \frac{di_a}{dt} \quad (47)$$

Considera-se a notação:

$$\frac{di_a}{dt} = \dot{i}_a \quad (48)$$

A equação das malhas pode ser escrita na seguinte forma

$$R_a \cdot i_a + L_a \cdot \dot{i}_a + e_{fem} - v_a = 0 \quad (49)$$

Continua-se o modelo introduzindo a constante da f.e.m. do motor, K_e , que se relaciona com a velocidade angular do motor.

$$e_{fem} = K_e \cdot \omega \quad (50)$$

Então, reescreve-se a equação das malhas.

$$R_a \cdot i_a + L_a \cdot \dot{i}_a + K_e \cdot \dot{\theta} = v_a \quad (51)$$

Agora analisa-se a parte mecânica do motor.

$$T - b_{motor} \cdot \dot{\theta} = J \cdot \ddot{\theta} \quad (52)$$

Introduzindo a constante de binário do motor, K_t

$$T = K_t \cdot i_a \quad (53)$$

A equação para a parte mecânica ganha a seguinte forma.

$$K_t \cdot i_a - b_{motor} \cdot \dot{\theta} = J \cdot \ddot{\theta} \quad (54)$$

Assim, as duas equações que descrevem a dinâmica do motor são as apresentadas abaixo

$$R_a \cdot i_a + L_a \cdot \dot{i}_a + K_e \cdot \dot{\theta} = v_a \quad (55)$$

$$K_t \cdot i_a - b_{motor} \cdot \dot{\theta} = J \cdot \ddot{\theta} \quad (56)$$

Para efeitos do controlo pretendido não há interesse em ter as equações escritas em relação ao ângulo do motor. Reescreve-se as duas equações da dinâmica do motor em função da velocidade angular considerando que $\dot{\theta} = \omega$.

$$R_a \cdot i_a + L_a \cdot \dot{i}_a + K_e \cdot \omega = v_a \quad (57)$$

$$K_t \cdot i_a - b_{motor} \cdot \omega = J \cdot \dot{\omega} \quad (58)$$

O sistema de engrenagens é apresentado na Figura 9.

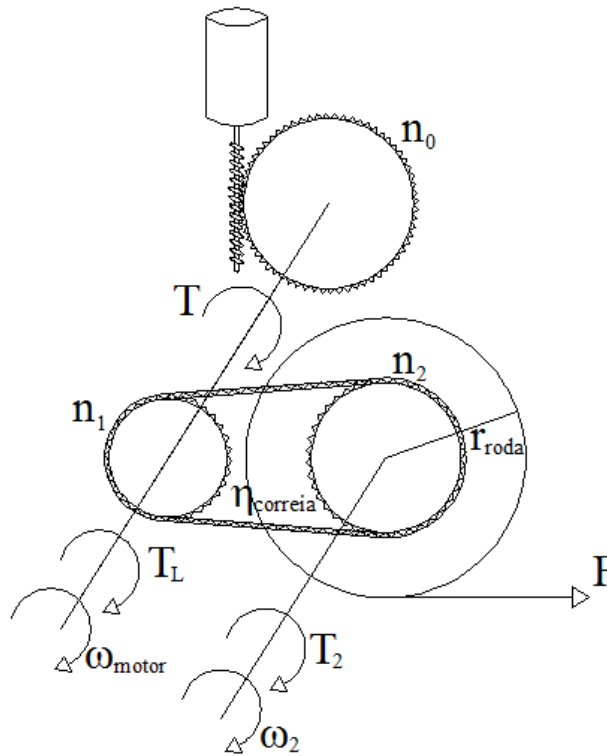


Figura 9 - Sistema de engrenagens

A relação entre os binários e a força aplicada no patim são as seguintes.

$$F = \frac{T_2}{r_{roda}} \quad (59)$$

$$T_2 = \eta_{correia} \cdot \frac{n_2}{n_1} \cdot T_L \quad (60)$$

A relação entre velocidades são encontradas nas equações (61) e (62)

$$v = r_{roda} \cdot \omega_2 \quad (61)$$

$$\omega_{motor} = \frac{n_2}{n_1} \cdot \omega_2 \quad (62)$$

O modelo retirado para o motor e engrenagens aparece duas vezes no modelo principal, um por patim, assim existem dois motores e dois sistemas de engrenagens distintos.

3.5. Sensores do sistema

Existem dois tipos de sensores, os sensores de força e os de intensidade de corrente.

3.5.1 Sensores de força

Os ângulos que o condutor cria ao inclinar-se para a frente ou para trás são calculados a partir de quatro sensores de força colocados nos patins. Note-se que esta inclinação é introduzida no modelo como um erro ou uma perturbação e não como uma referência a seguir pelo sistema de controlo. O sistema de controlo pretende sempre seguir a referência e a referência para o ângulo neste caso é zero, ou seja, manter o condutor na vertical.

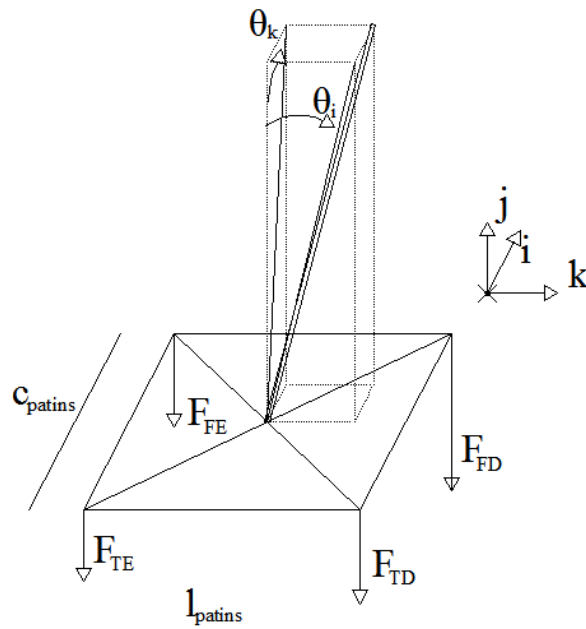


Figura 10 - Representação 3D dos ângulos do modelo

Considera-se que as distâncias medidas ao longo dos vectores de um referencial colocado no centro dos quatro sensores de força até ao centro de massa do condutor são dadas pelas equações (63), (64) e (65).

$$d_i = \frac{c_{patim}}{2} \cdot \frac{F_{sensorFE} + F_{sensorFD} - F_{sensorTE} - F_{sensorTD}}{F_{sensorFE} + F_{sensorFD} + F_{sensorTE} + F_{sensorTD}} \quad (63)$$

$$d_k = \frac{l_{patim}}{2} \cdot \frac{F_{sensorFD} + F_{sensorTD} - F_{sensorFE} - F_{sensorTE}}{F_{sensorFE} + F_{sensorFD} + F_{sensorTE} + F_{sensorTD}} \quad (64)$$

$$d_j = \frac{h}{2} \quad (65)$$

As tangentes dos ângulos formados são dadas pelas equações (66) e (67)

$$\tan(\theta_k) = \frac{d_i}{d_j} \quad (66)$$

$$\tan(\theta_i) = \frac{d_k}{d_j} \quad (67)$$

Os ângulos do modelo são calculados a partir das duas seguintes equações

$$\theta_k = \tan^{-1} \left(\frac{c_{patim}}{h} \cdot \frac{F_{sensorFE} + F_{sensorFD} - F_{sensorTE} - F_{sensorTD}}{F_{sensorFE} + F_{sensorFD} + F_{sensorTE} + F_{sensorTD}} \right) \quad (68)$$

$$\theta_i = \tan^{-1} \left(\frac{l_{patim}}{h} \cdot \frac{F_{sensorFD} + F_{sensorTD} - F_{sensorFE} - F_{sensorTE}}{F_{sensorFE} + F_{sensorFD} + F_{sensorTE} + F_{sensorTD}} \right) \quad (69)$$

Assim, o diagrama de blocos que representa a conversão do valor apresentado pelos sensores de força para os ângulos existentes é o que se apresenta na próxima figura.

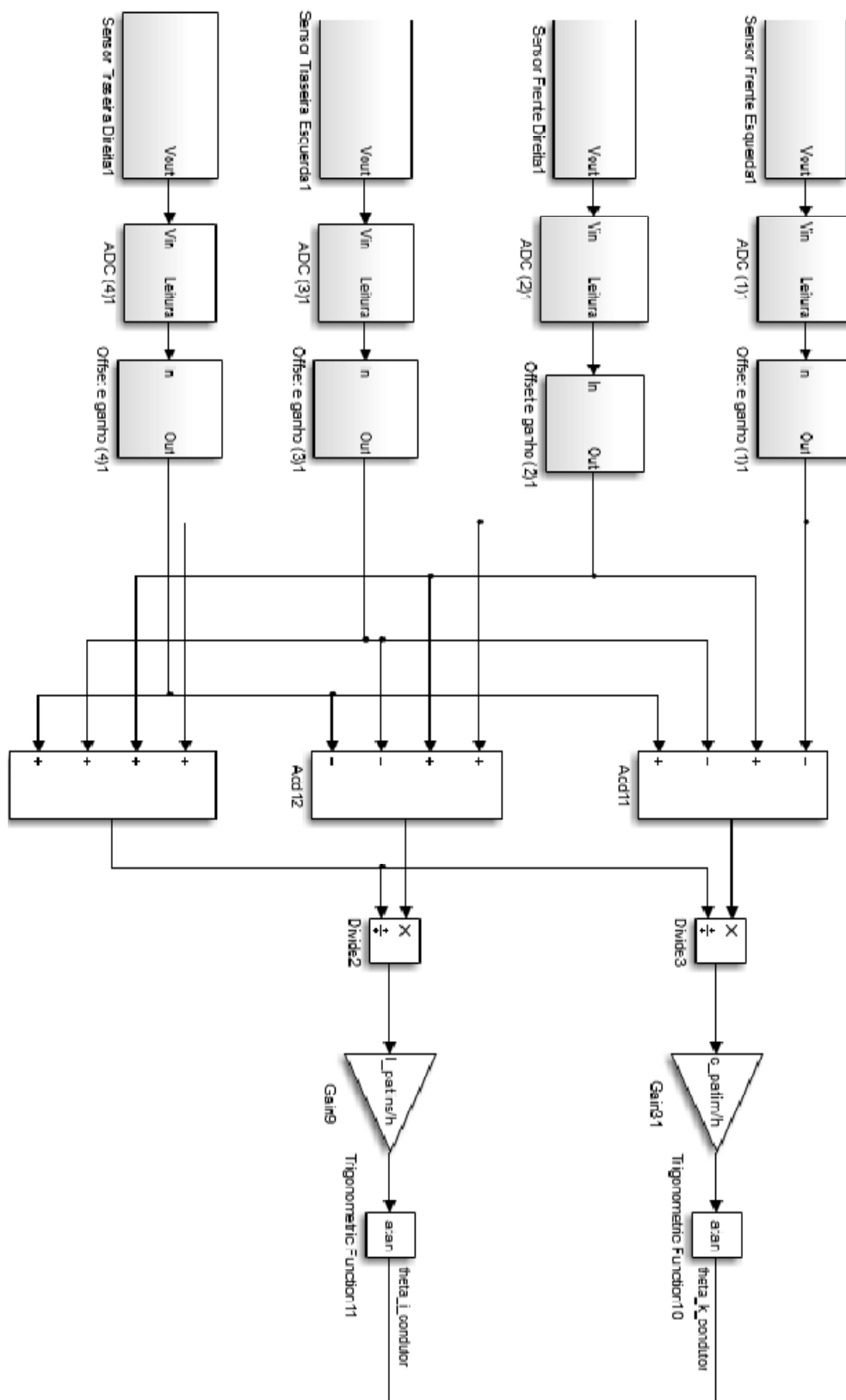


Figura 11 - Diagrama de blocos leitura dos ângulos

3.5.2. Sonda de corrente

A relação entrada-saída da sonda de corrente em função da corrente no motor é dada na Figura 12.

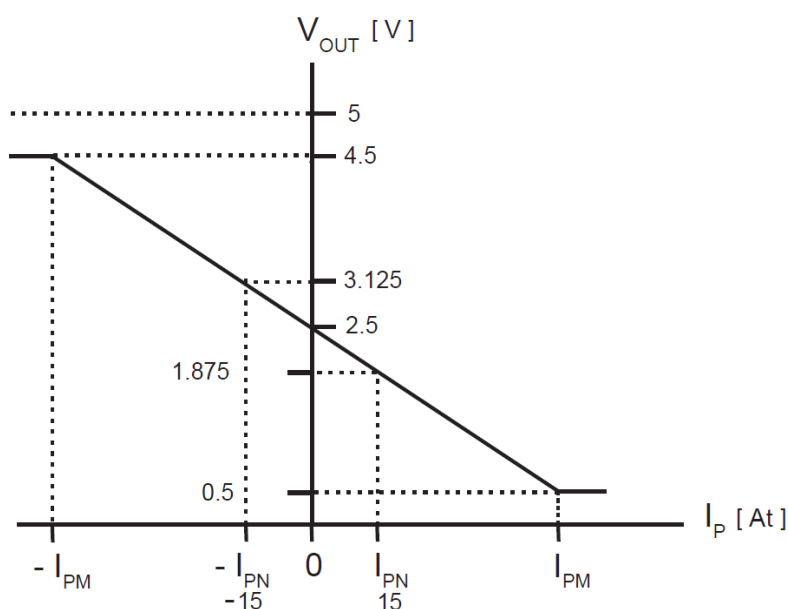


Figura 12 - Tensão de saída da sonda em função da corrente no motor

A sonda satura em 4,5V para correntes iguais ou inferiores a -48A e em 0,5V para valores iguais ou superiores a 48A. Como a corrente de saturação do sensor é bastante superior aquelas que se pretendem utilizar considera-se apenas a zona de funcionamento linear.

$$i_{sonda} = -24 \cdot v_{sonda} + 60 \quad (70)$$

Colocando a tensão em função da corrente no primário, a relação entrada-saída é dada pela equação (71).

$$v_{sonda} = -0,041667 \cdot i_{sonda} + 2,5 \quad (71)$$

O ADC do microcontrolador utilizado é de 10bits para valores de tensão dos 0V a 5V. A conversão da leitura do ADC para o nível de tensão é pela equação (72).

$$v_{ADC} = \frac{5}{2^{10}} \cdot n_{ADC} \approx 0,004883 \cdot n_{ADC} \quad (72)$$

3.6. Diagrama de blocos do modelo

O diagrama de blocos do modelo é efectuado a partir das equações não linearizadas. Repare-se que para dimensionar o controlador é necessário proceder à linearização do modelo o que conduz a um novo modelo aproximado do inicial. Ao linearizar perde-se informação e portanto o modelo linearizado é um pouco mais afastado da realidade física que se pretende controlar. Na prática considera-se que a perda de informação não é significativa para o controlo a implementar, no entanto, existem sempre algumas variações. Assim, dimensiona-se o controlador para o modelo linearizado mas o teste de desempenho é efectuado no modelo não linearizado. Procede-se desta forma com a finalidade de analisar o controlador numa situação o mais próximo do real.

Opta-se por iniciar a construção do diagrama de blocos pelas equações do pêndulo. Mostra-se apenas a construção para o controlo do pêndulo na componente tangente à trajectória, visto que, para a perpendicular à trajectória os procedimentos são os mesmos. A primeira coisa a fazer é introduzir o ramo que relaciona o ângulo, com a sua velocidade angular e com a sua aceleração angular. O ramo é construído da velocidade angular para a posição angular, ou seja, não é com base nas derivadas e sim através do termo integrador. No domínio de Laplace, o integrador de uma função é dado pela equação (73).

$$L\left(\int_0^t f(\tau)d\tau\right) = \frac{1}{s} \cdot F(s) \quad (73)$$

Com base na equação constrói-se o ramo apresentado.

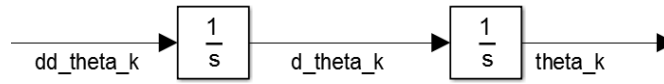


Figura 13 - Ramo de theta_k

As equações do pêndulo podem ser reescritas segundo as equações (74) e (75)

$$\ddot{\theta}_k = \frac{1}{I_p} \cdot \left(\frac{h}{2} \cdot m_{pendulo} \cdot g \cdot \sin(\theta_k) - m_{pendulo} \cdot \frac{h}{2} \cdot \cos(\theta_k) \cdot \ddot{x} \right) \quad (74)$$

$$\ddot{x} = \frac{1}{2 \cdot m_{patim} + m_{pendulo}} \cdot \left(F_x(t) + m_{pendulo} \cdot \frac{h}{2} \cdot \dot{\theta}_k^2 \cdot \sin(\theta_k) - m_{pendulo} \cdot \frac{h}{2} \cdot \cos(\theta_k) \cdot \ddot{\theta}_k \right) \quad (75)$$

Introduzindo as equações no sistema, o diagrama de blocos é representado na Figura 14.

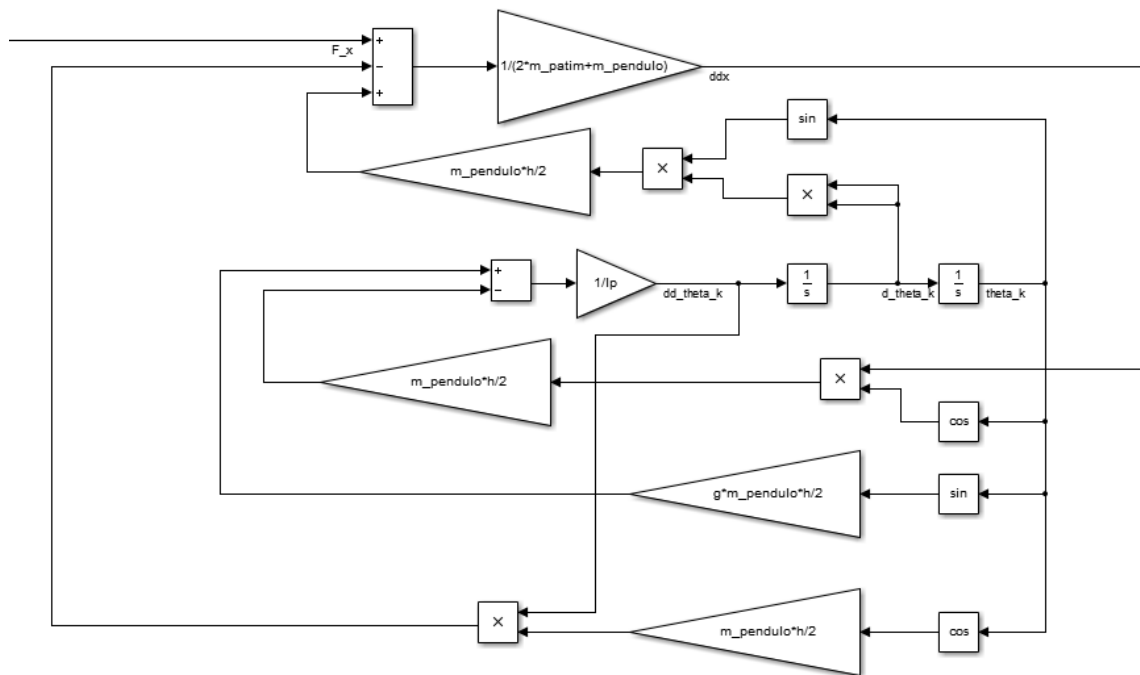


Figura 14 - Diagrama de blocos do pêndulo 2D

No próximo passo constrói-se o diagrama de blocos do motor de um dos patins. Apresenta-se o exemplo do patim direito começando pela próxima equação.

$$R_a \cdot i_a + L_a \cdot \dot{i}_a + K_e \cdot \omega = v_a \quad (76)$$

Chega-se à equação (77) aplicando a transformada de Laplace a ambos os termos da equação (76).

$$R_a \cdot I_a + L_a \cdot s \cdot I_a + K_e \cdot \Omega = V_a \quad (77)$$

Rescreve-se (77) a equação em função da corrente.

$$I_a = \frac{1}{L_a \cdot s + R_a} \cdot (V_a - K_e \cdot \Omega) \quad (78)$$

Então, o diagrama é o apresentado na Figura 15.

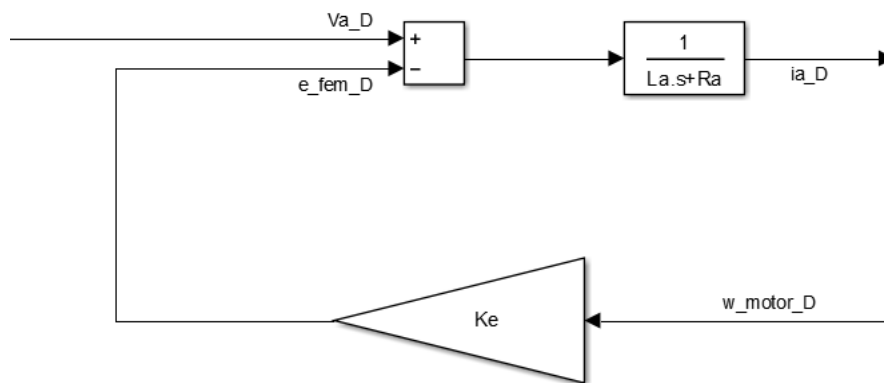


Figura 15 - Diagrama de blocos do motor (parte 1)

Introduzindo a constante de binário do motor, K_t .

$$T = K_t \cdot i_a \quad (79)$$

Seguindo-se a relações entre binários.

$$T_2 = \eta_{correia} \cdot \frac{n_2}{n_1} \cdot T_L \quad (80)$$

$$F = \frac{T_2}{r_{roda}} \quad (81)$$

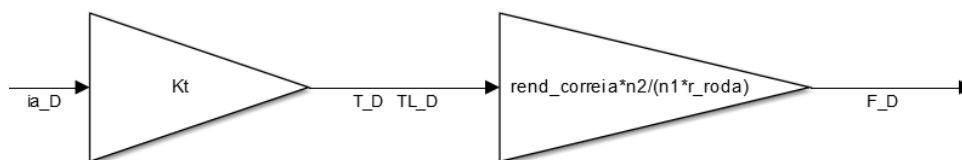


Figura 16 - Ramo do motor (parte 2) e engrenagens

A força tangencial à trajectória é dada pela soma das forças aplicadas nos dois patins

$$F_x(t) = F_{PE_x}(t) + F_{PD_x}(t) \quad (82)$$

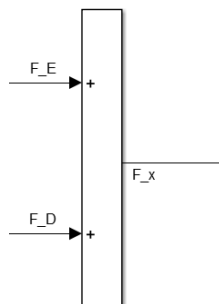


Figura 17 - Diagrama da força tangente à trajectória

A força normal à trajectória é dada pela equação (83).

$$F_z(t) = \left(\frac{m_{pendulo} + 2 \cdot m_{patim}}{2 \cdot l_{patins}} \right) \cdot (v_{PE_x}^2 - v_{PD_x}^2) \quad (83)$$

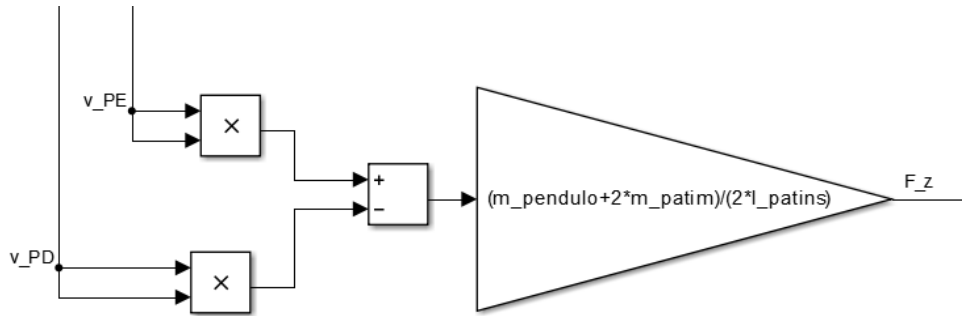


Figura 18 - Diagrama da força normal à trajectória

A massa para cada patim é calculada a partir das equações (84) e (85).

$$m_{PD} = m_{patim} + \frac{m_{pendulo}}{2 \cdot l_{patins}} \cdot (l_{patins} + h \cdot \sin(\theta_i)) \quad (84)$$

$$m_{PE} = m_{patim} + m_{pendulo} - m_{pendulo_{PD}} \quad (85)$$

O diagrama de blocos deste subsistema que calcula a massa é apresentado na Figura 19.

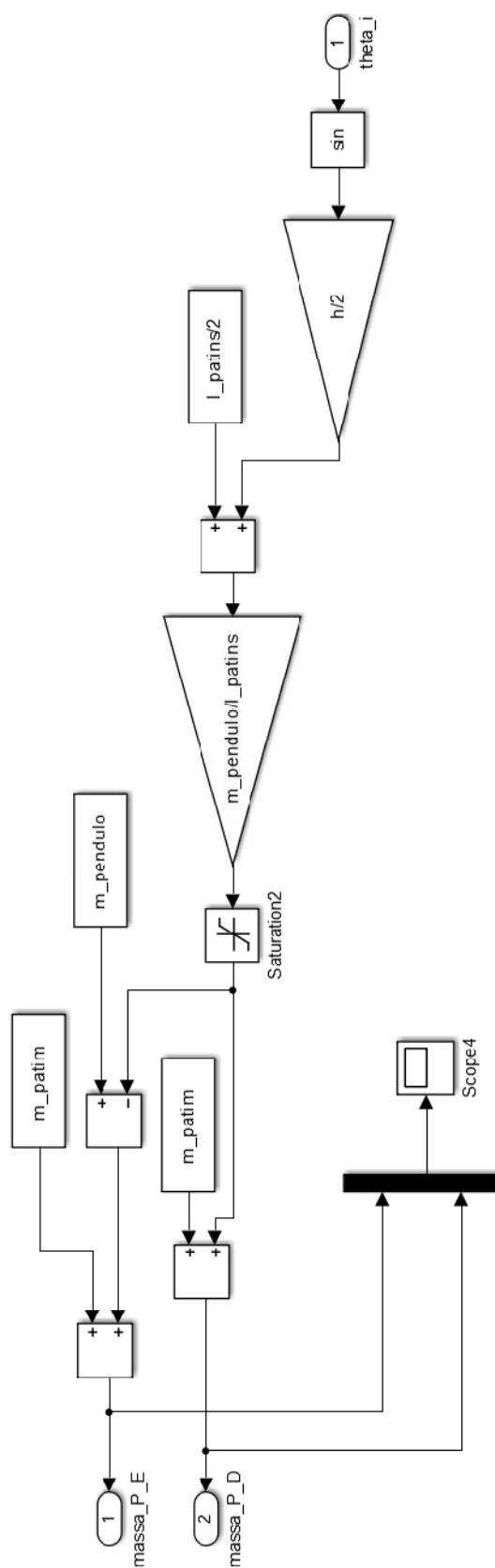


Figura 19 - Subsistema do cálculo da massa

3.7. Linearização do modelo

Considere-se os seguintes desenvolvimento em série de potências.

$$\cos(a) = \sum_{n=0}^{\infty} \frac{(-1)^n}{(2 \cdot n)!} \cdot a^{2 \cdot n} \quad (86)$$

$$\sin(a) = \sum_{n=0}^{\infty} \frac{(-1)^n}{(2 \cdot n + 1)!} \cdot a^{2 \cdot n + 1} \quad (87)$$

$$\arctan(a) = \sum_{n=0}^{\infty} \frac{(-1)^n}{2 \cdot n + 1} \cdot a^{2 \cdot n + 1} \quad (88)$$

Para ângulos pequenos as funções trigonométricas podem ser aproximadas pelo primeiro termo da série de Taylor correspondente.

$$\cos(a) \approx 1 \quad (89)$$

$$\sin(a) \approx a \quad (90)$$

$$\arctan(a) \approx a \quad (91)$$

Para as equações do pêndulo considera-se que as velocidades angulares são baixas e portanto considera-se que o seu quadrado é aproximadamente zero. Assim, as equações do pêndulo linearizadas para os dois pêndulos resumem-se às quatro equações seguintes.

No plano tangente à trajectória consideram-se as seguintes equações do sistema.

$$I_p \cdot \ddot{\theta}_k + m_{pendulo} \cdot \frac{h}{2} \cdot \ddot{x} = 0 \quad (92)$$

$$(2 \cdot m_{patim} + m_{pendulo}) \cdot \ddot{x} + m_{pendulo} \cdot \frac{h}{2} \cdot \ddot{\theta}_k = F_x(t) \quad (93)$$

Para o plano perpendicular à trajectória consideram-se as seguintes equações do sistema.

$$I_p \cdot \ddot{\theta}_i + m_{pendulo} \cdot \frac{h}{2} \cdot \ddot{z} = 0 \quad (94)$$

$$(2 \cdot m_{patim} + m_{pendulo}) \cdot \ddot{z} + m_{pendulo} \cdot \frac{h}{2} \cdot \ddot{\theta}_i = F_z(t) \quad (95)$$

As massas m_{PE} e m_{PD} são aproximadas através das equações (96) e (97).

$$m_{PE} = m_{patim} + \frac{m_{pendulo}}{2 \cdot l_{patins}} \cdot (l_{patins} - h \cdot \theta_i) \quad (96)$$

$$m_{PD} = m_{patim} + \frac{m_{pendulo}}{2 \cdot l_{patins}} \cdot (l_{patins} + h \cdot \theta_i) \quad (97)$$

A força tangencial é dada pela seguinte equação

$$F_x(t) = m_{PE} \cdot \dot{v}_{PE_x} + m_{PD} \cdot \dot{v}_{PD_x} \quad (98)$$

Se substituirmos as equações (96) e (97) para a massa na equação (98) da força tangencial, se a multiplicação do ângulo com a aceleração tangencial for aproximada a zero, a equação toma a seguinte forma.

$$F_x(t) = \left(m_{patim} + \frac{m_{pendulo}}{2} \right) \cdot \dot{v}_{PE_x} + \left(m_{patim} + \frac{m_{pendulo}}{2} \right) \cdot \dot{v}_{PD_x} \quad (99)$$

A força normal é dada pela seguinte equação

$$F_z(t) = \left(\frac{m_{\text{pendulo}} + 2 \cdot m_{\text{patim}}}{2 \cdot l_{\text{patins}}} \right) \cdot (v_{PE_x}^2 - v_{PD_x}^2) \quad (100)$$

Os termos da velocidade dos patins encontram-se ao quadrado, para linearizar começa-se por analisar a gama de velocidades em que funcionam os patins. Consultando a Tabela 1 da página 37 de medições do motor, a potência útil máxima que aparece listada é de aproximadamente 60W, cada patim tem uma massa de 6,8Kg e que o peso médio do condutor é de 80Kg. A potência pode ser dada pelo produto da massa com velocidade, colocando isso em função da velocidade fica.

$$v_{\text{max}} = \frac{P_{\text{max}}}{m} = \frac{2 \cdot 60}{80 + 2 \cdot 6,8} = 1,28 \text{ m/s} \quad (101)$$

Pretende-se aproximar a função quadrática a uma recta que passe na origem do referencial, considera-se que na gama de velocidades possíveis de atingir com o motor é dos 0m/s aos 1,28m/s. Pretende-se aproximar a uma recta que passe na origem a função dada, ou seja, a uma função do tipo,

$$f(x) = a \cdot x \quad (102)$$

Aplica-se o método dos mínimos quadrados recorrendo ao Matlab para calcular o declive da recta que melhor se aproxima à função, o algoritmo utilizado é o que se apresenta abaixo.

```
P_max_motor=60; %Potência útil máxima do motor em (W)
m_pendulo=80; % Massa do condutor (Kg)
m_patim=6.8; % Massa de um patim (Kg)
v_max=2*P_max_motor/(2*m_patim+m_pendulo); % Velocidade máxima
x=linspace(0,v_max);
y=x.^2;
```

```

plot(x,y,'b','LineWidth',2);
grid on;
a=(x*y)/(x*x'); %Métodos dos mínimos quadrados
x_aprox=a*x;
hold on;
plot(x,x_aprox,'r','LineWidth',2)
title('Método dos mínimos quadrados');
xlabel('x');
ylabel('f(x)');
legend('f(x)=x^2', ['f(x)=a*x onde a='
num2str(a)], 'Location', 'SouthEast');

```

O gráfico criado em Matlab

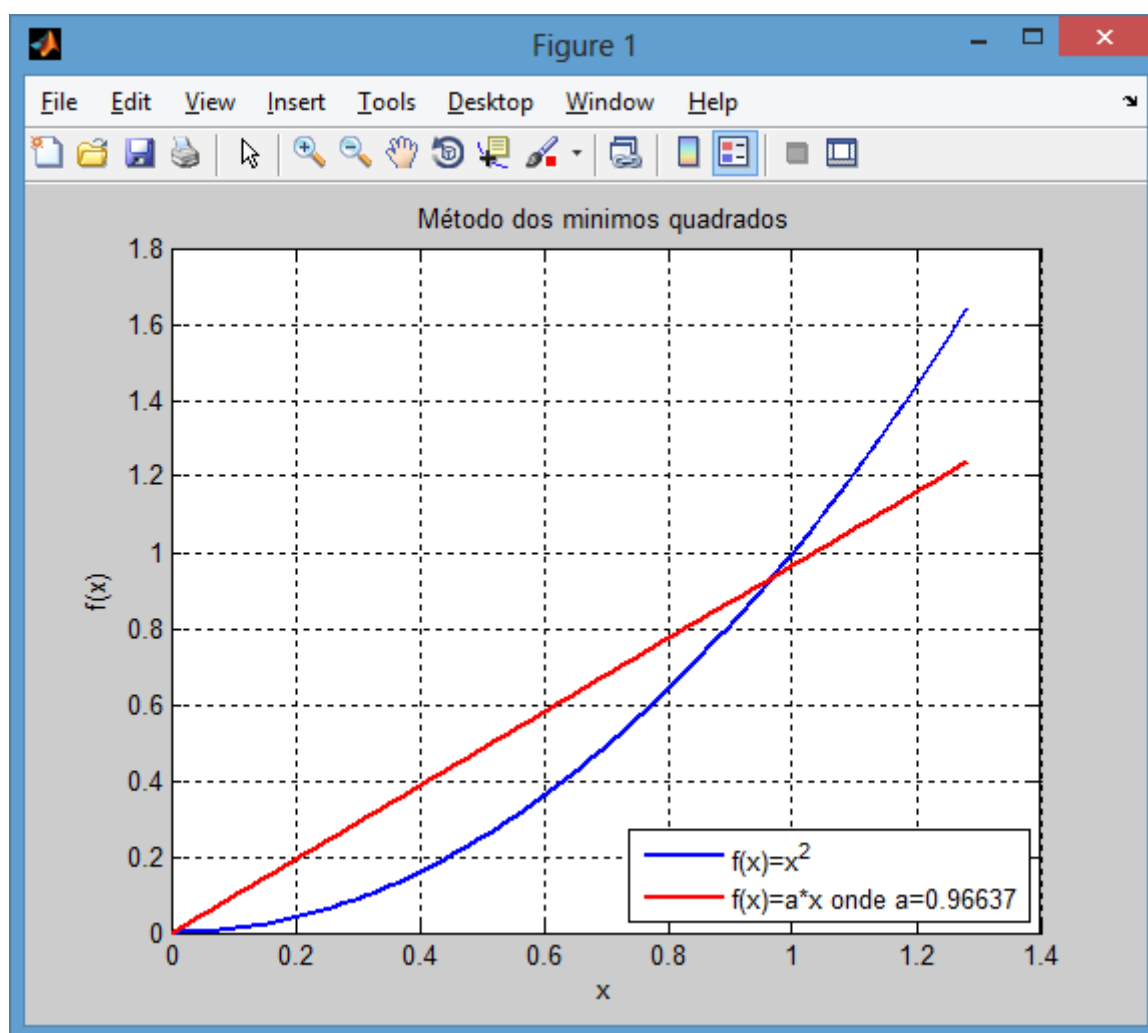


Figura 20 - Linearização de x^2 no intervalo

Assim, a força normal será aproximada para a equação (103).

$$F_z(t) = \left(\frac{m_{pendulo} + 2 \cdot m_{patim}}{2 \cdot l_{patins}} \right) \cdot (a \cdot v_{PE_x} - a \cdot v_{PD_x}) \quad (103)$$

Como o declive $a \approx 1$ a equação fica reduzida à próxima equação

$$F_z(t) = \frac{m_{pendulo} + 2 \cdot m_{patim}}{2 \cdot l_{patins}} \cdot v_{PE_x} - \frac{m_{pendulo} + 2 \cdot m_{patim}}{2 \cdot l_{patins}} \cdot v_{PD_x} \quad (104)$$

As equações do motor não necessitam de ser linearizadas.

3.8. Determinação das constantes do motor DC

Os motores utilizados nos patins foram produzidos na Delphi, este é o modelo Taigene e são normalmente utilizados nos vidros eléctricos das portas esquerdas de vários automóveis. Não existe um datasheet com os todos os dados técnicos do motor, no entanto, nos fóruns da empresa existe uma tabela com alguns registos efectuados em regime permanente para a tensão de 12V. Na tabela original a velocidade é dada em rpm, sendo aqui convertida para rad/s.

Velocidade (rad/s)	Binário (N·m)	Corrente (A)	Potência útil (W)	Eficiência (%)
0,000	42,8	24,2	0	0%
0,314	40,0	22,7	13,3	5%
0,628	37,1	21,1	24,6	10%
1,047	34,3	19,6	34,1	14%
1,361	31,4	18,1	41,7	19%
1,676	28,6	16,5	47,3	24%
1,990	25,7	15	51,1	28%
2,304	22,9	13,5	53,0	33%

2,618	20,0	11,9	53,0	37%
3,037	17,1	10,4	51,1	41%
3,351	14,33	8,9	57,3	44%
3,665	11,4	7,4	41,7	47%
3,979	8,6	5,8	34,1	49%
4,294	5,7	4,3	24,6	48%
4,608	2,9	2,8	13,3	40%
5,027	0,0	1,2	0	0%

Tabela 1 - Dados do motor

Relembre-se a seguinte equação do motor.

$$R_a \cdot i_a + L_a \cdot \dot{i}_a + K_e \cdot \dot{\theta} = v_a \quad (105)$$

Utilizando a primeira linha de dados da tabela, sabe-se que a velocidade angular é nula, a derivada da corrente também é nula visto que se trata do regime permanente. Assim, a resistência de armadura R_a da seguinte forma.

$$R_a = \frac{12}{24,2} = 495,87 \cdot 10^{-3} \Omega \quad (106)$$

Ainda em regime permanente, com a derivada da corrente igual a zero, a constante K_e resume-se à próxima equação.

$$K_e = \frac{v_a - R_a \cdot i_a}{\dot{\theta}} \quad (107)$$

O gráfico ilustra a variação de K_e em função da velocidade angular e o seu valor médio a ser utilizado no sistema de controlo.

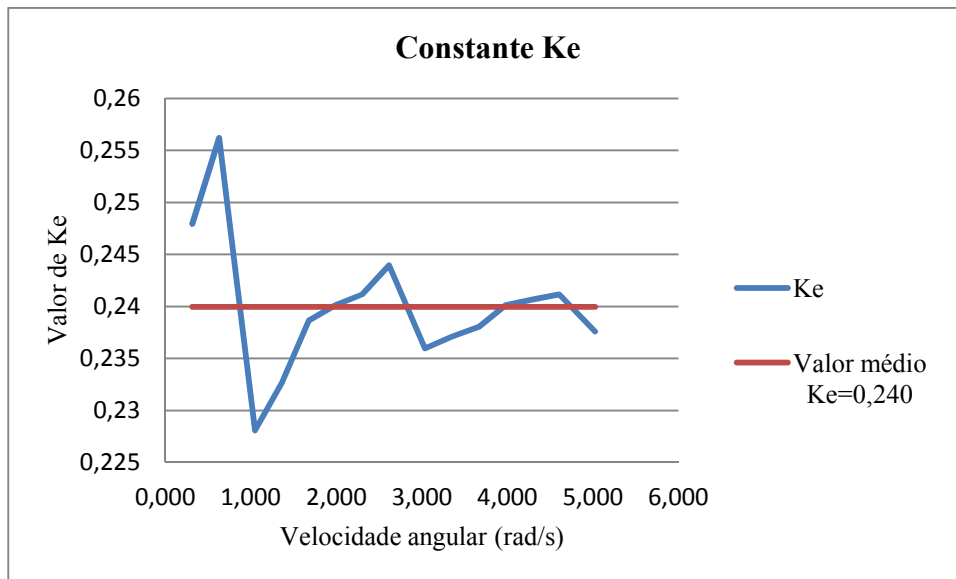


Figura 21 - Gráfico da constante K_e

Assume-se que $K_e = 0,240 \text{ v} \cdot \text{s/rad}$.

A constante de binário é dada pela seguinte equação.

$$K_t = \frac{T}{i_a} \quad (108)$$

O gráfico da constante de binário em função da corrente é apresenta-se de seguida.

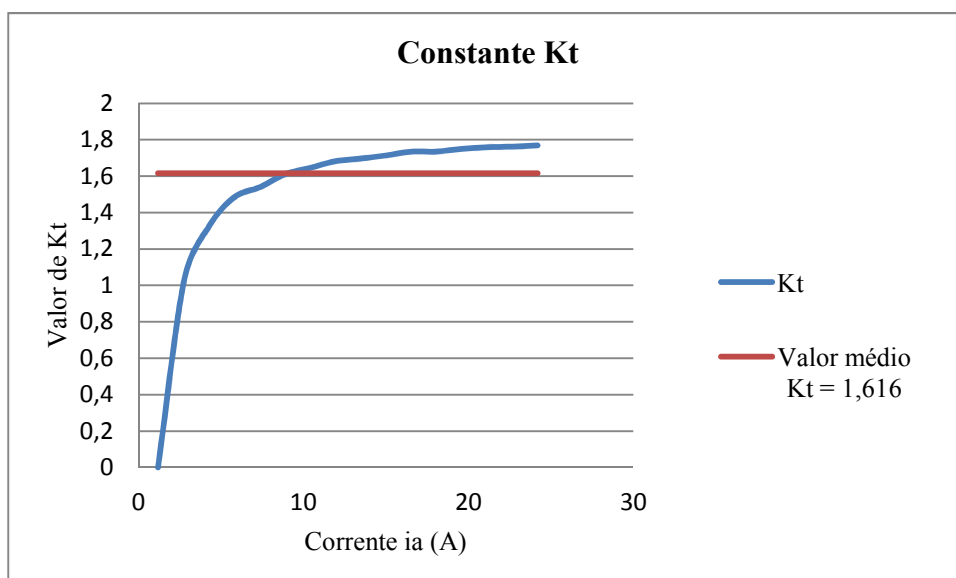


Figura 22 - Gráfico da constante K_t

Assim, considera-se que $K_t = 1,616 \text{ N} \cdot \text{m/A}$.

Agora analisa-se a parte mecânica do motor.

$$T_L = J \cdot \ddot{\theta} - K_t \cdot i_a + b_{motor} \cdot \dot{\theta} \quad (109)$$

As medições foram retiradas em regime permanente, então a aceleração angular é nula. Utilizando os dados da última linha da tabela onde o binário T_L é nulo então o coeficiente de atrito viscoso resume-se à próxima equação.

$$b_{motor} = \frac{T_L + K_t \cdot i_a}{\dot{\theta}} = \frac{0 + 1,616 \cdot 1,2}{5,027} = 0,386 \text{ N} \cdot \text{m} \cdot \text{s/rad} \quad (110)$$

O momento de inercia, J é calculado com base na fórmula para um cilindro maciço de massa m_{rotor} e raio da base r_{rotor} em torno de seu eixo.

$$J = \frac{1}{2} \cdot m_{rotor} \cdot r_{rotor}^2 \quad (111)$$

$$J = \frac{1}{2} \cdot 0,5 \cdot 0,03^2 = 225 \cdot 10^{-6} \text{ kg} \cdot \text{m}^2 \quad (112)$$

Na próxima tabela apresenta-se um resumo das constantes do motor que são utilizadas no modelo do sistema.

Constante	Valor
R_a	0,49587 Ω
L_a	≈ 0 H
K_e	0,240v·s/rad
K_t	1,616N·m/A
b_{motor}	0,386 N·m·s/rad
m_{rotor}	0,5kg
r_{rotor}	0,03m
J	225·10 ⁻⁶ kg·m ²

Tabela 2 - Constantes do motor DC

4. Controlo

4.1 Controlo de corrente por hardware

O controlo da corrente é realizado de duas maneiras, uma delas é por software no microcontrolador. A outra é por hardware, anulando o sinal PWM do microcontrolador para a placa de potência quando o valor médio da intensidade de corrente em cada motor ultrapassa uma determinada intensidade de corrente. Assim, o controlo de corrente por hardware sobrepõe-se sempre ao controlo introduzido pelo utilizador, protegendo o equipamento contra más configurações do controlador ou encravamentos mecânicos. O circuito introduzido é relativamente simples.

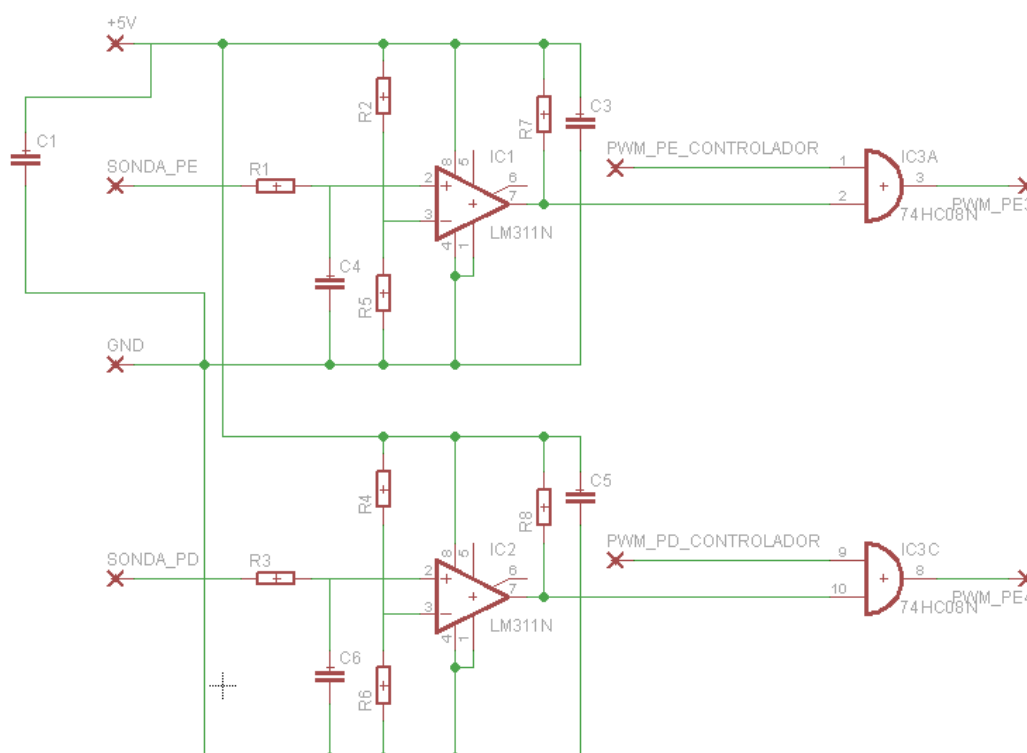


Figura 23 - Circuito de controlo de corrente

Note-se que o circuito é introduzido numa nova PCB e que o circuito se repete para os dois patins. O sinal proveniente da sonda é filtrado num filtro RC de primeira ordem do tipo passa baixo. A frequência de corte do filtro foi dimensionada para se situar entre a frequência de amostragem do microcontrolador (10Hz) e a frequência do sinal de PWM (>20KHz). Escolheu-se situar a frequência do sinal entre estas duas frequências para utilizar o sinal filtrado simultaneamente para as entradas analógicas do microcontrolador e para a porta AND. A frequência de corte de um filtro RC é dada pela próxima equação.

$$f_c = \frac{1}{2 \cdot \pi \cdot R \cdot C} \quad (113)$$

Assim, utilizando uma resistência de 330Ω e um condensador de 100nF obtêm-se a seguinte frequência de corte.

$$f_c = \frac{1}{2 \cdot \pi \cdot 330 \cdot 100 \cdot 10^{-9}} = 4,8kHz \quad (114)$$

Após filtrar o sinal da sonda compara-se com um valor de referência. Para determinar este valor de referência começa-se por calcular a tensão para a qual a sonda apresenta 10A.

$$v_{ref} = v_{sonda}(10A) \quad (115)$$

Na zona linear de funcionamento, A tensão na sonda é dada pela seguinte equação.

$$v_{sonda} = -0,041667 \cdot i_{sonda} + 2,5 \quad (116)$$

Assim, a tensão de referência é a seguinte

$$v_{ref} = -0,041667 \cdot 10 + 2,5 = 2,08v \quad (117)$$

Para criar esta referência utiliza-se um divisor de tensão com uma alimentação de 5v. Considerando a resistência R5 a resistência ligada à massa e R2 a resistência ligada à alimentação tem-se o seguinte

$$V_{R5} = V_{cc} \cdot \frac{R_5}{R_5 + R_2} \quad (118)$$

$$2,08 = 5 \cdot \frac{R_5}{R_5 + R_2} \quad (119)$$

$$2,08 \cdot R_2 = (5 - 2,08) \cdot R_5 \quad (120)$$

$$R_2 = 1,4 \cdot R_5 \quad (121)$$

Para R5=2,2kΩ tem-se R2≈3,08kΩ, utilizou-se R2=3kΩ. Com R2 menor que o calculado, a corrente em que o circuito elimina o sinal de PWM será menor.

$$V_{R5} = 5 \cdot \frac{2,2}{2,2+3} = 2,12v \quad (122)$$

$$i_{sonda} = -24 \cdot v_{sonda} + 60 \quad (123)$$

$$i_{sonda} = -24 \cdot 2,12 + 60 = 9,12A \quad (124)$$

Quando a corrente média atinge os 9,12A o comparador coloca 0V à saída e por acção da porta AND anula o sinal de PWM para a drive dos MOSFET da placa de potência dos patins.

O protótipo final da placa adicionada ao sistema apresenta-se na próxima figura.

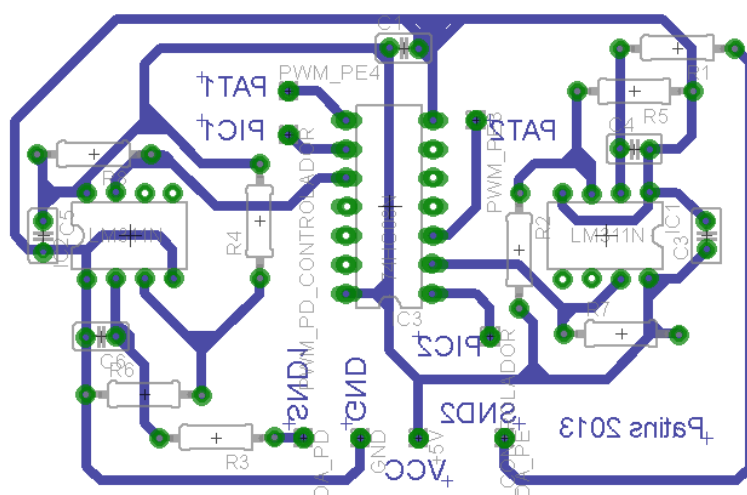


Figura 24 - Placa de controlo de corrente

4.2. Modelo do controlador em Simulink

O controlador baseia-se nos quatro sensores de força e na intensidade de corrente nos motores para controlar os patins. O sinal de comando de cada um dos patins é constituído pela soma de três componentes, onde uma diz respeito ao controlo tangencial outra para a componente normal e por fim uma última para o controlo de corrente. A componente tangencial é consequência do ângulo de inclinação do condutor para a frente que é filtrado por um controlador do tipo PID. A componente de controlo normal à trajectória resulta do ângulo que o condutor forma no sentido normal à trajectória após um outro PID. A componente de corrente é calculada com base na intensidade de corrente nos dois motores, tem uma abordagem diferente das anteriores e será explicada mais abaixo. Cada uma destas componentes é limitada a uma gama de valores aceitáveis, ou seja, a componente tangencial à trajectória é limitada superiormente pelo limite máximo de tensão aplicável aos motores dos patins e com o mínimo igual a zero. A componente tangencial é limitada em módulo a uma percentagem da tensão máxima aplicável aos patins e tolera valores positivo para virar à direita e valores negativos para virar à esquerda. Por fim, a componente de corrente é limitada ao valor máximo possível da soma das duas primeiras componentes. A componente tangencial pretende provocar uma aceleração nos patins e portanto entra com sinal positivo para os dois motores. A componente normal pretende

provocar uma diferença na tensão aplicada aos dois patins e portanto é somada ao patim do lado esquerdo e subtraída ao patim do lado direito. A componente de corrente provoca uma redução no valor de tensão e consecutivamente redução da intensidade de corrente, é portanto subtraída aos valores de tensão a aplicar a cada patim. A tensão a aplicar a cada um dos patins é então dada pelas seguintes equações.

$$v_{aE} = comp_{tangencial} + comp_{normal} - comp_{corrente} \quad (125)$$

$$v_{aD} = comp_{tangencial} - comp_{normal} - comp_{corrente} \quad (126)$$

A componente normal deixa de fazer sentido no caso de o condutor levantar um dos pés. Neste caso, introduziu-se uma nova condição para evitar que o patim que se encontra no ar acelere e que o que apoia o condutor reduza a velocidade. Assim, quando os sensores de força de um dos patins apresentam uma força inferior a zero, a componente de controlo normal à trajectória entra em decaimento. Isto acontece geralmente quando o condutor pretende subir escadas ou corrigir a direcção. Nesta situação considera-se que o patim que foi levantado deve funcionar à velocidade do patim que se encontra em contacto com o solo. A velocidade será estipulada pelos sensores de força do patim que se encontra no chão. Em simulink o decaimento é representado por uma malha de realimentação negativa da saída para a entrada do controlador. O diagrama de blocos geral do controlador é o que se apresenta na próxima figura.

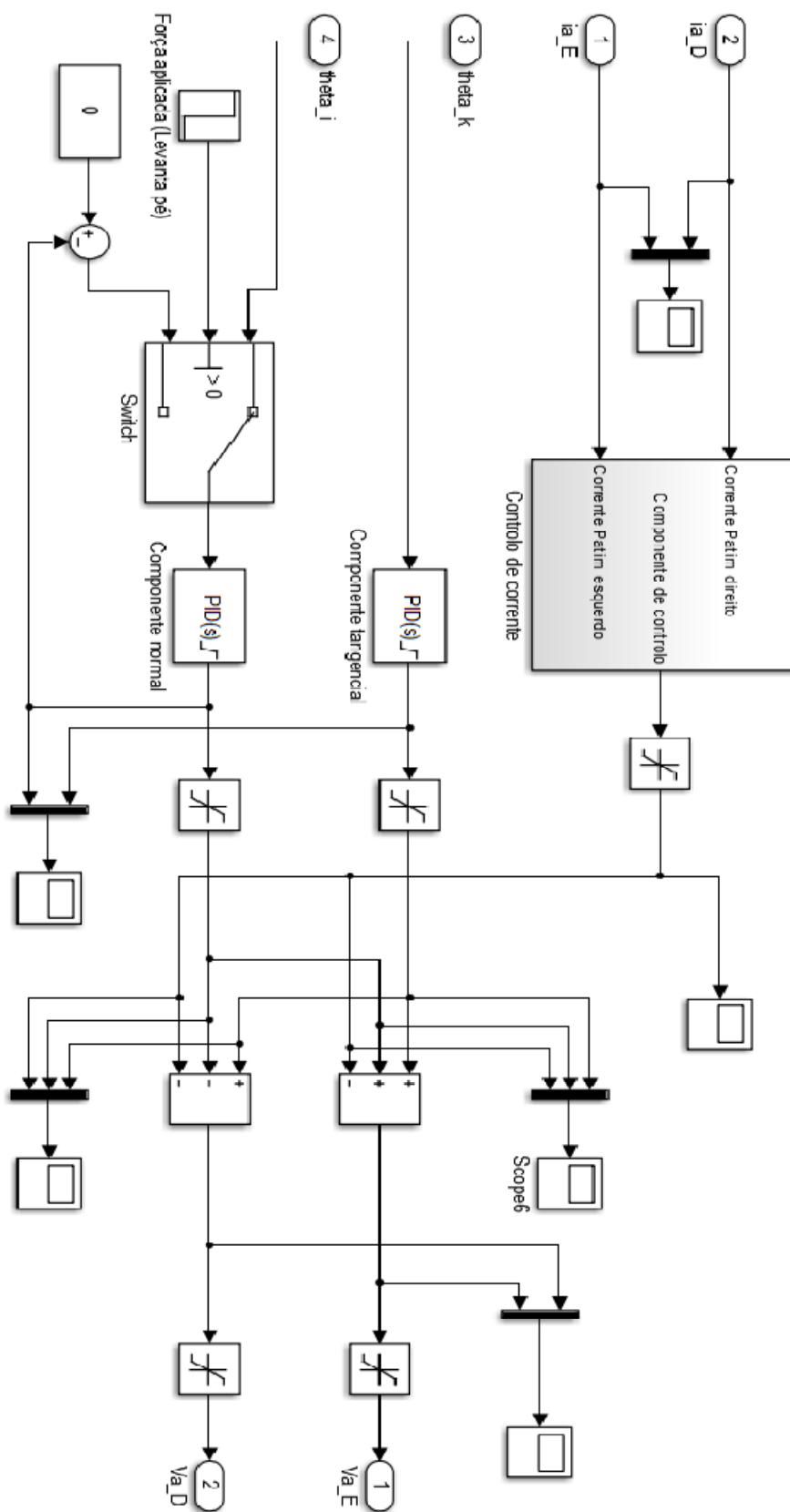


Figura 25 - Diagrama de blocos do controlador

O bloco responsável pelo controlo de corrente gera o sinal com base na leitura das duas correntes e provoca de forma igual uma redução da tensão aplicada a cada um dos patins, isto é, o excesso de corrente num dos motores provoca uma redução na tensão aplicada nos dois motores. Em funcionamento normal dos patins esta componente deverá ser zero, isto é, quando os motores se encontram a trabalhar com uma corrente aceitável esta componente não terá peso no sinal de comando aplicado aos motores. Assim que um dos motores atinge um limite estipulado pelo programador do controlador a componente irá aumentar e consecutivamente provoca uma queda na intensidade de corrente. Se a corrente atingir o limite de corte estipulado, a componente cresce ao ponto de anular as outras componentes do sinal de comando e consecutivamente baixa a corrente. A constante proporcional do controlador PID é dimensionada para que no caso de se atingir a corrente limite estipulada, o sinal do factor de ciclo aplicado no ciclo de controlo seguinte seja igual a zero. Para garantir isso, é necessário que a componente atinja o valor máximo possível da soma das outras componentes quando se atinge o valor máximo de corrente do intervalo estipulado pelo utilizador. O dimensionamento da constante proporcional é realizado considerando que os outros ganhos do controlador sejam iguais a zero, sendo ainda possível adicionar um ganho integral no controlador.

$$K_{p_corrente} \cdot (i_{corte} - i_{inicio}) = Limite_{max_tangencial} + Limite_{max_normal} \quad (127)$$

$$K_{p_corrente} = \frac{Limite_{max_tangencial} + Limite_{max_normal}}{i_{corte} - i_{inicio}} \quad (128)$$

No caso de a componente integral ser maior do que zero, a situação de corte do sinal PWM aconteça antes de se atingir a corrente limite estipulada, visto que, as leituras anteriores também terão peso na acção do controlador. Já se explicou a situação em que a componente cresce, no entanto, tem de se analisar também a forma de como a componente decresce. Note-se que a componente não se pode anular instantaneamente porque isso iria causar um aumento repentino na tensão aplicada nos patins. Assim é necessário que a componente se vá suavizando ao longo do tempo até ao ponto em que se anula. Este decaimento é representado por um ramo de realimentação negativa no próprio controlador, na prática isso é implementado por um decaimento dado por uma percentagem do sinal a

cada ciclo de controlo. Assim, o diagrama de blocos que representa o controlo de corrente é o que se apresenta de seguida.

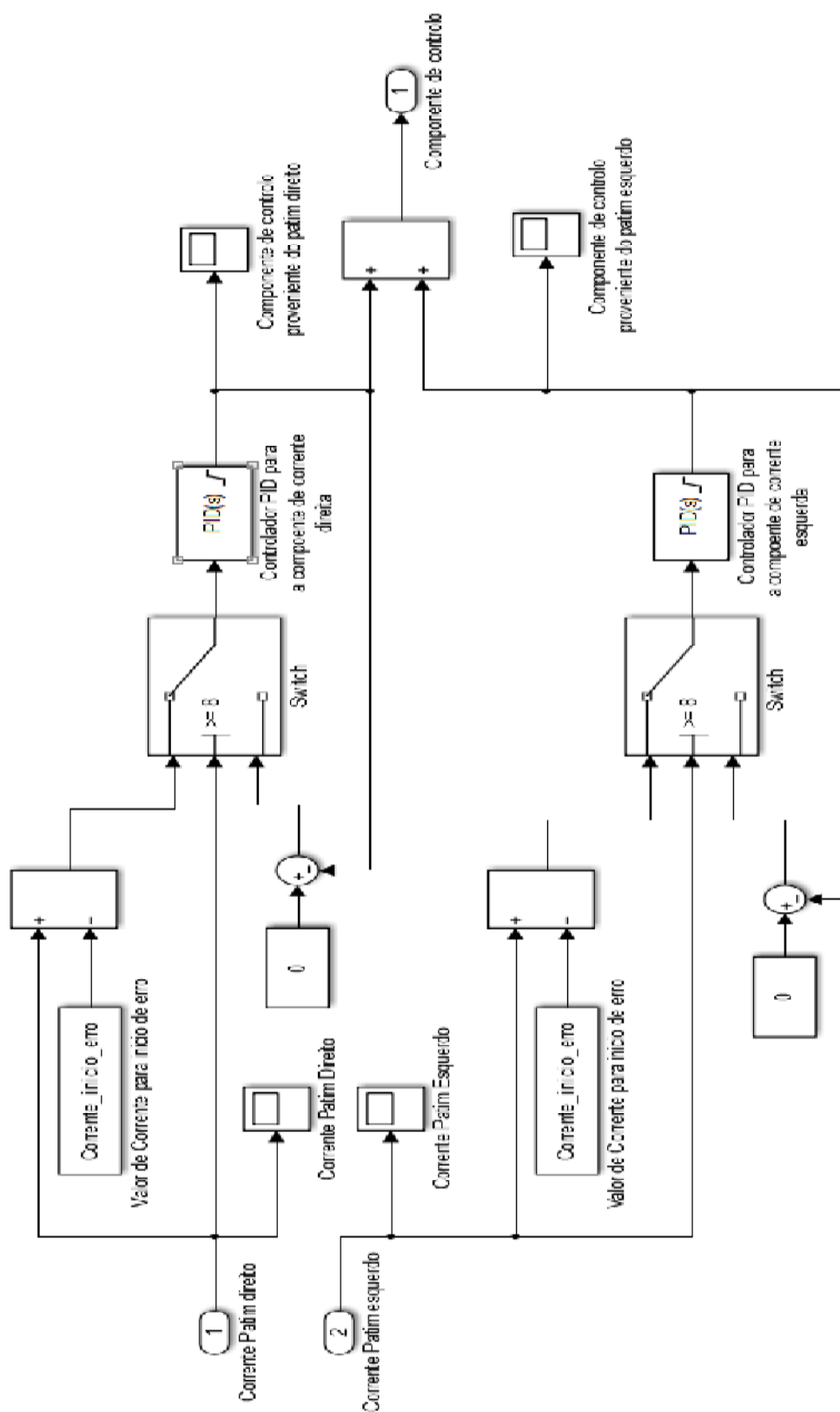


Figura 26 - Diagrama de blocos do controlo de corrente

Note-se que o comutador apresentado na imagem anterior comuta para cima quando a corrente é superior à corrente de início de erro e comuta para baixo quando é inferior para anular a componente. A componente total de corrente é a soma das componentes dos motores dos dois patins.

4.3. Programação do microcontrolador

O microcontrolador desempenha duas funções principais, uma é a implementação do controlo do sistema e a outra é a troca de dados com uma aplicação de interface com o utilizador. É Utilizado um microcontrolador PIC18F458 apresentado na referência [10], com um oscilador de 4MHz. O sinal dos sensores encontra-se ligado às portas analógicas e os actuadores aos módulos de PWM conforme a próxima tabela apresentada.

Porta	Funcionalidade	Ligação externa
RA1	Entrada analógica 1	Sensor de força frente esquerda
RA2	Entrada analógica 2	Sensor de força traseira esquerda
RA3	Entrada analógica 3	Sensor de força frente direita
RA5	Entrada analógica 4	Sensor de força traseira direita
RE0	Entrada analógica 5	Sonda de corrente do motor do patim direito
RE1	Entrada analógica 6	Sonda de corrente do motor do patim esquerdo
RC2	Módulo PWM1	Sinal de PWM para o patim esquerdo
RD4	Módulo EPWM1	Sinal de PWM para o patim direito
RC6	Módulo USART - TX	Envio de dados
RC7	Módulo USART - RX	Recepção de dados

Tabela 3 - Ligações externas das portas do microcontrolador

Assim que o controlador arranca são executadas todas as configurações iniciais do programa, o que inclui a configuração dos módulos de PWM, as portas analógicas e as interrupções. Através da interrupção de tempo, o microcontrolador é configurado para executar um ciclo de instruções a cada 100ms. Nesse ciclo de instrução são executadas todas as instruções que implementam o controlo e a troca de dados com a aplicação de

interface com o utilizador. O próximo fluxograma mostra como são executadas de uma forma geral as instruções da interrupção de tempo.

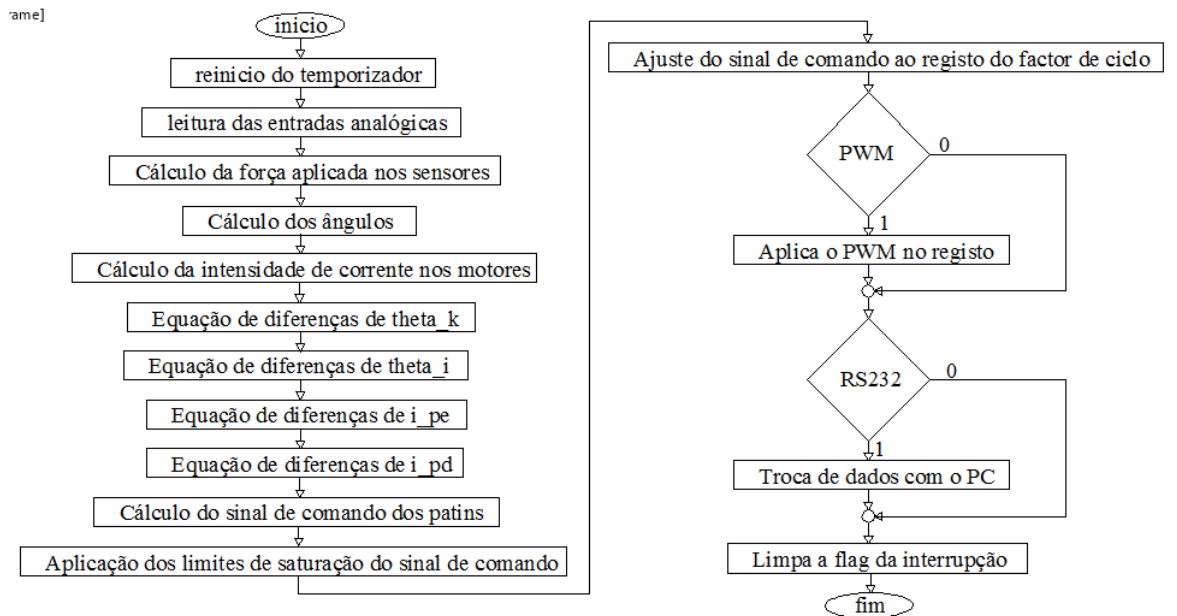


Figura 27 - Fluxograma da interrupção de tempo

As configurações de PWM e RS232 só se encontram acessíveis ao programador da aplicação. Normalmente o seu valor é “1” o que significa que é aplicado o sinal de PWM aos motores e feita a troca de dados entre o microcontrolador e a aplicação. Note-se que se trata de um fluxograma geral e alguns dos módulos representados são subsistemas.

Para implementar o controlador é necessária a utilização de uma equação de diferenças. Considere-se um controlador contínuo proporcional, integral e derivativo de acordo com a equação (129).

$$C_{PID}(s) = \frac{U(s)}{E(s)} = K_P + \frac{K_I}{s} + K_D \cdot s \quad (129)$$

Aplicando o método de Tustin ao termo integral e o método das diferenças para trás ao termo derivativo o controlador no domínio de z fica na seguinte forma

$$C_{PID}(z) = \frac{U(z)}{E(z)} = K_P + K_I \cdot \frac{T \cdot (z+1)}{2 \cdot (z-1)} + K_D \cdot \frac{(z-1)}{z \cdot T} \quad (130)$$

Aplicando a transformada inversa de z e algumas transformações chega-se à seguinte equação de diferenças do controlador.

$$u[n] = u[n-1] + \left(K_P + \frac{K_I \cdot T}{2} + \frac{K_D}{T} \right) \cdot e[n] + \left(\frac{K_I \cdot T}{2} - K_P - \frac{K_D \cdot 2}{T} \right) \cdot e[n-1] + \frac{K_D}{T} \cdot e[n-2] \quad (131)$$

De seguida é exposto um exemplo da implementação de um controlador no microcontrolador.

```
// Equação de diferenças do controlador de theta_k
ganho_eq_act=(KpX+((KiX*T)/2)+(KdX/T));
ganho_eq_ant1((((KiX*T)/2)-KpX)-((KdX*2)/T));
ganho_eq_ant2=(KdX/T);
u_theta_k_ant1=u_theta_k;
u_theta_k=u_theta_k_ant1+ganho_eq_act*theta_k+
    ganho_eq_ant1*theta_k_ant1+ganho_eq_ant2*theta_k_ant2;
```

O cálculo da componente de controlo relativa à aceleração tangencial é calculada através da equação de diferenças de theta_i cujo fluxograma genérico é o representado na Figura 28.

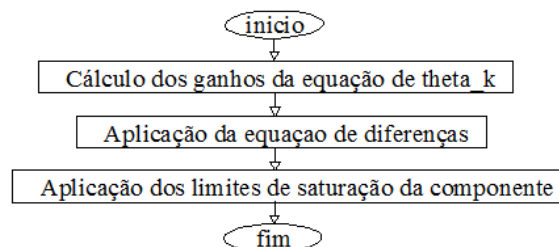


Figura 28 - Equação de diferenças de theta_k

A componente encarregue da viragem é determinada a partir do controlador de θ_i , no entanto, este controlador pode funcionar de duas formas. O modo de funcionamento é decidido com base na leitura dos sensores de força. Quando o condutor tem um dos pés no ar, a soma dos sensores nesse lado dos patins é inferior a zero, neste caso, o controlador aplica um decaimento estipulado pelo utilizador à componente de controlo. Quando a soma dos sensores de cada patim é superior a zero é aplicada a equação de diferenças. O próximo fluxograma representa o funcionamento do módulo.

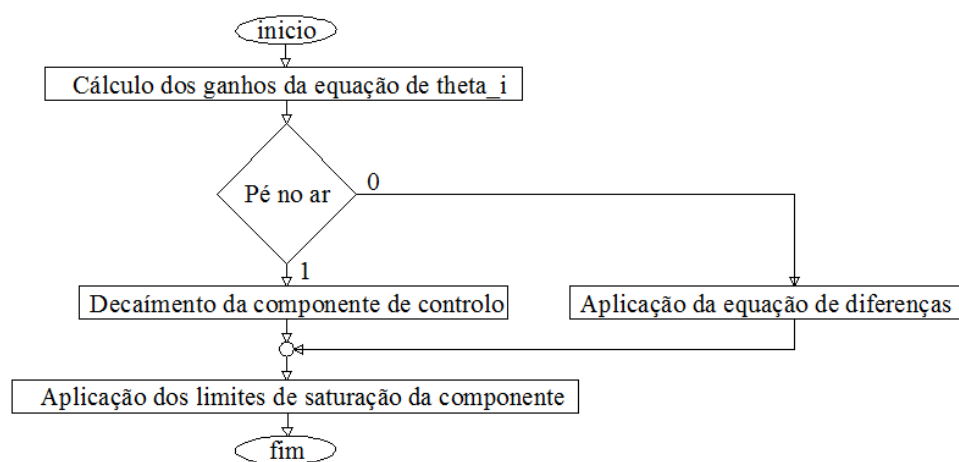


Figura 29 - Equação de diferenças de θ_i

O controlo de corrente tem um funcionamento diferente dos anteriores mas igual para os dois motores. Assim para cada motor o valor da componente é zero enquanto não se atinge o valor mínimo de cálculo de erro de corrente. Quando ultrapassa essa fronteira, o erro é igual ao valor que excede esse valor de início de erro e é aplicada a equação de diferenças. Quando o valor de corrente é inferior ao limiar de início de erro, a componente de controlo relativa a esse motor entra em decaimento, perdendo uma percentagem do seu valor a cada ciclo de controlo. O fluxograma genérico do controlo de corrente num dos motores é apresentado de seguida.

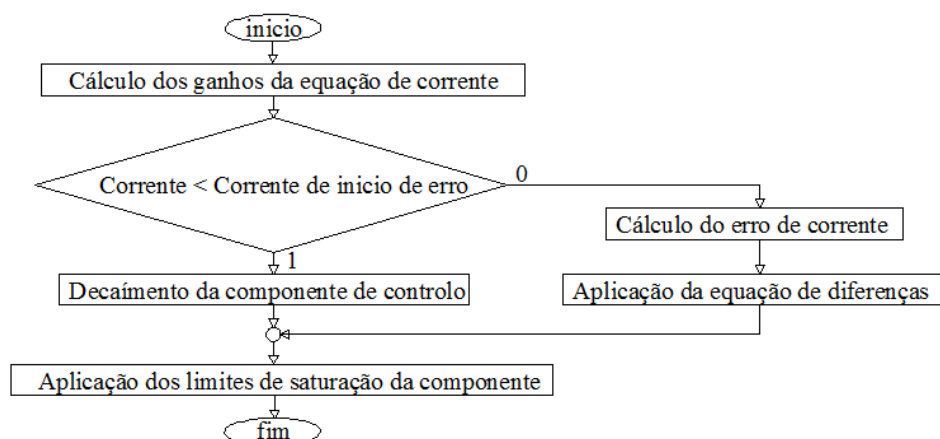


Figura 30 - Controlo de corrente num patim

A troca de dados entre o microcontrolador e o PC é a uma taxa de 19,2kbps, o que com oscilador utilizado é a maior taxa de transmissão possível de todas as padronizadas. O envio de dados só acontece uma vez em cada ciclo de controlo, ou seja, uma vez a cada 100ms. Neste caso, o microcontrolador envia uma *string* com as informações úteis à aplicação de interface com o utilizador. A *string* é iniciada e terminada com a sequência de caracteres “AB” contendo no seu interior 23 bytes de dados. As *flags* de início e fim servem de controlo na recepção no PC para validar os dados. O envio de dados acontece sempre a cada ciclo de instrução, estando o microcontrolador ligado ao PC ou não.

A recepção de dados no microcontrolador pode ou não acontecer. O microcontrolador só irá receber dados se o utilizador da aplicação de interface decidir actualizar alguma configuração. Neste caso, o microcontrolador irá receber um byte a cada ciclo de controlo e através de um contador interno irá construir uma *string*. Assim que construir uma *string* de tamanho suficiente e que a *flag* indique os campos a actualizar, o microcontrolador renova as variáveis respectivas. Há três *flags* possíveis, uma para o offset e ganho dos sensores, outra para o limite do factor de ciclo e finalmente uma para os controladores. Um fluxograma exemplificativo é apresentado na próxima imagem.

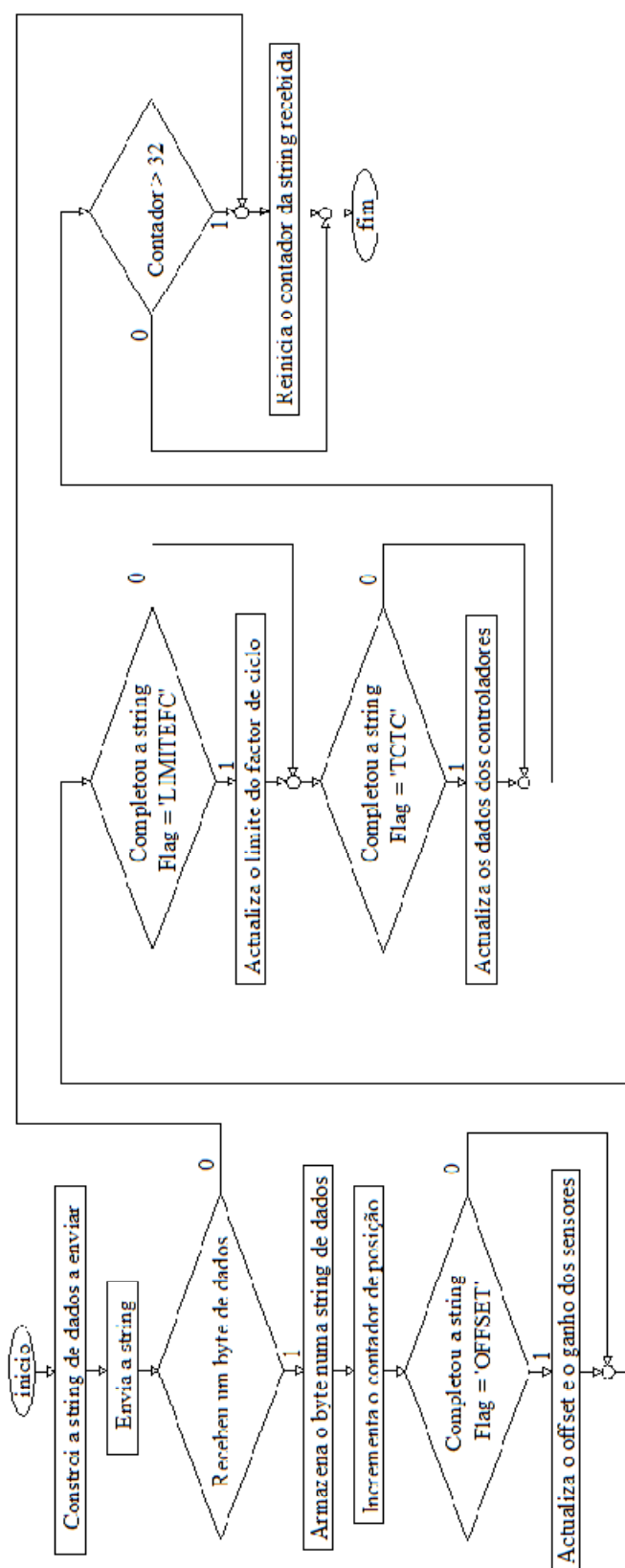


Figura 31 - Troca de dados com o PC

5. Software de configuração dos patins

Além de poder visualizar o comportamento do controlador, diversas configurações podem ser actualizadas sempre que o utilizador assim entenda. Anteriormente era necessário reprogramar o microcontrolador para conseguir configurar os ganhos dos controladores, agora pode ser feito através da aplicação. A aplicação da versão de anterior era desenvolvida em Visual Basic 6, a nova versão é desenvolvida em Visual Studio 2012. A nova versão da aplicação apresenta todas as funcionalidades da anterior e mais algumas, sendo que as mais importantes se encontram na próxima tabela.

Funcionalidade	Versão do programa	
	Versão de 2012	Versão de 2013
Comunicação USART		
Escolha da porta	x	x
Recepção de dados	x	x
Envio de dados		x
Monitorização de variáveis		
String de dados recebida	x	x
Caracteres enviados		x
Componentes de controlo		x
Sensores de força	x	x
Sondas de corrente		x
Factor de ciclo	x	x
Projecção do centro de massa	x	x
Outras funcionalidades		
Salvar/Abrir ficheiros de configurações		x
Configuração controladores patins		x
Configuração dos sensores de força		x
Limite máximo de factor de ciclo		x

Tabela 4 - Comparação de funcionalidades

5.1 Iniciar o programa

Ao arrancar o programa, o utilizador terá à sua frente a janela apresentada na próxima imagem. Este deve carregar uma vez no botão “Iniciar” para listar as portas COM disponíveis, seleccionar a porta COM onde estão ligados os patins e voltar a carregar “Iniciar”.

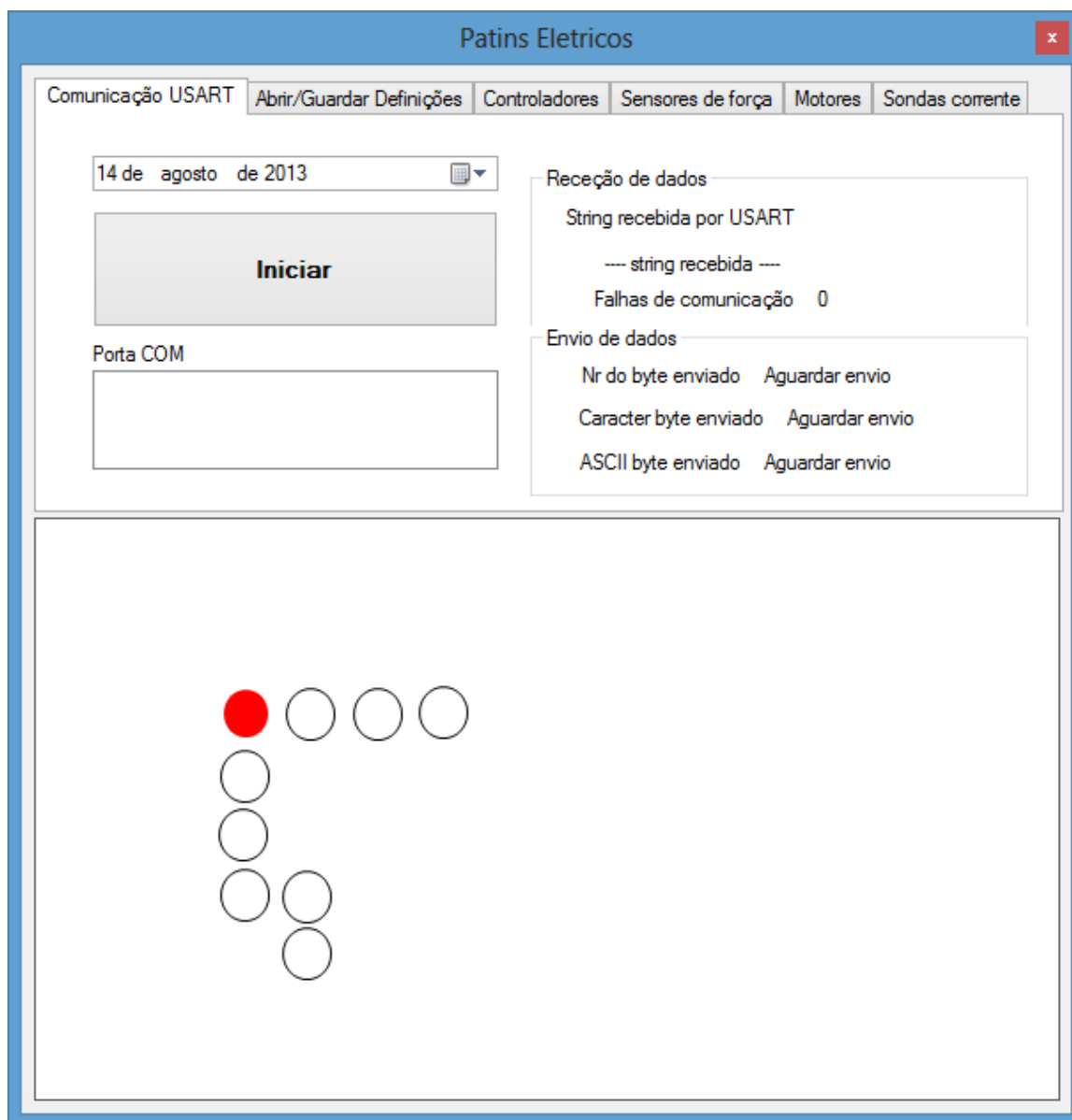


Figura 32 - Início do programa (1)

Se o utilizador não se enganar na porta de ligação com os patins, a aplicação irá apresentar uma imagem algo idêntica à da próxima figura.

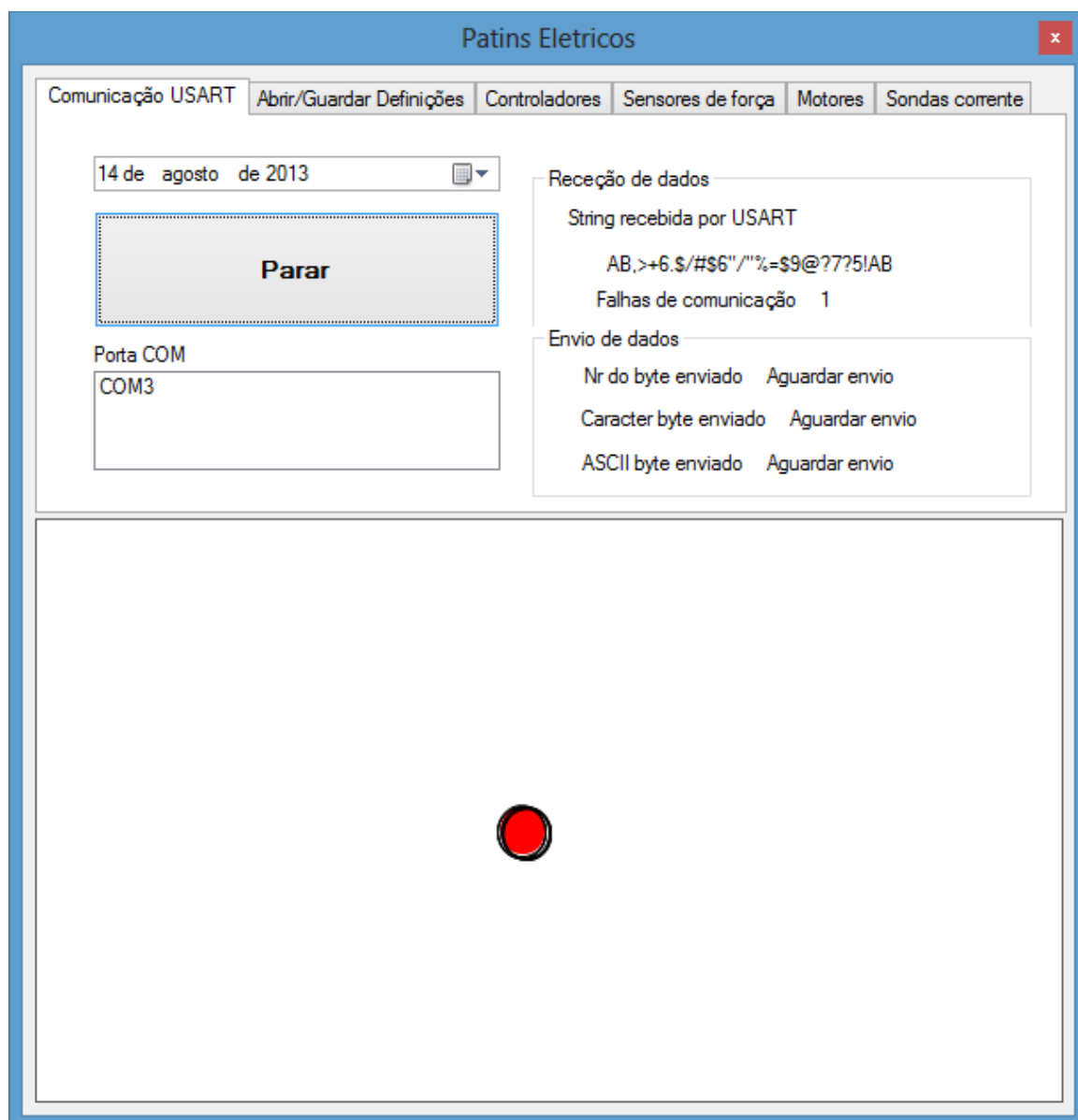


Figura 33 - Início do programa (2)

Neste momento, é possível o utilizador verificar algumas mudanças.

Em cima à direita, é possível ver a última string recebida pelo programa. O programa contou um erro de comunicação, o que não é grave. Os erros de comunicação ocorrem por dois motivos, ou uma string de dados que o programa recebeu vinha incompleta ou os bytes de controlo não corresponderam ao esperado. Qualquer uma das situações não compromete o funcionamento do programa daí em diante.

Em baixo, os círculos na tela branca moveram-se para o centro da tela e neste momento acompanham a projecção do centro de massa do condutor sobre o plano dos sensores de força.

5.2. Separador “Abrir/Guardar Definições”

Seguindo os separadores pela sua ordem do programa, o segundo é o “Abrir/Guardar Definições”. Como o próprio nome indica, neste separador o utilizador pode salvar configurações que tenha gostado para reutilizar mais tarde. O separador é apresentado na próxima figura.

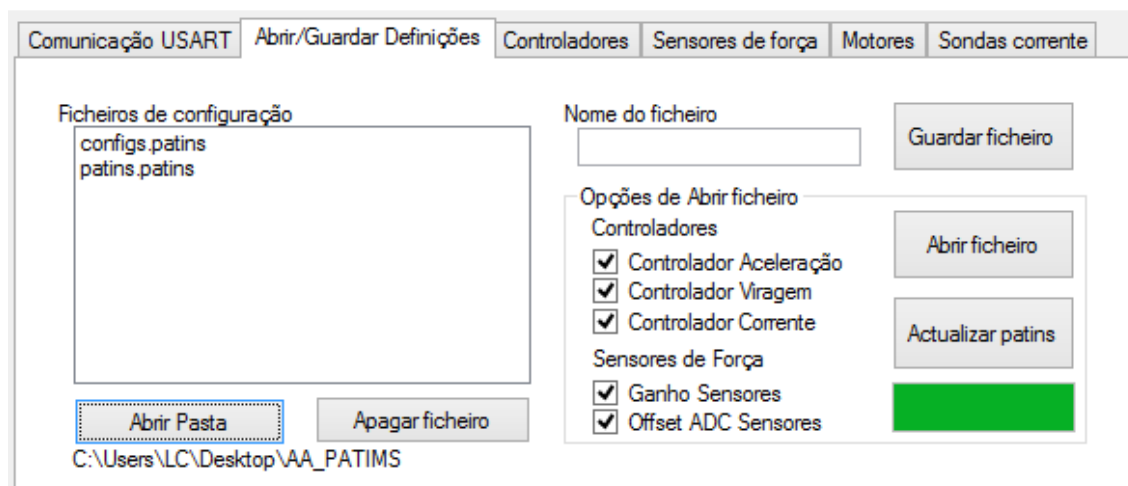


Figura 34 - Separador “Abrir/Guardar Definições”

Na figura anterior, do lado esquerdo tem-se a lista dos ficheiros de configuração da pasta seleccionada. O utilizador pode seleccionar a pasta através do botão “Abrir Pasta”. Quando se pressiona o botão “Abrir Pasta” abre-se uma nova janela onde se pode escolher a pasta onde se encontram os ficheiros.

O botão “Apagar ficheiro” move o ficheiro seleccionado na lista para a reciclagem e não o apaga como dá a entender o nome, permitindo ao utilizador recupera-lo caso assim o entenda.

Na figura anterior, do lado direito em cima tem-se a caixa de texto para o nome com o qual o programa irá guardar o ficheiro. Caso o utilizador grave “em cima” de um ficheiro, o anterior é movido para a reciclagem podendo ser recuperado.

Antes de abrir um ficheiro de configurações o utilizador deve ter em conta quais as opções que pretende abrir do ficheiro e ter apenas essas opções seleccionadas nas checkbox quando carrega no botão “Abrir ficheiro”. O utilizador pode então carregar no botão “Actualizar patins” para actualizar para os patins todas as configurações presentes no programa.

5.3. Separador “Controladores”

No terceiro separador é possível configurar o comportamento dos controladores dos patins. É o separador mais importante do programa e não deve ser alterado por curiosos num primeiro contacto. Se é a primeira vez que utiliza os patins então o melhor será utilizar um dos ficheiros de configurações fornecido. Encontra-se abaixo uma imagem deste separador.

Comunicação USART	Abrir/Guardar Definições	Controladores	Sensores de força	Motores	Sondas corrente
<div> <div> <p>Aceleração linear</p> <p>Ganho Proporcional: 5</p> <p>Ganho Integral: 2</p> <p>Ganho Derivativo: 0</p> <p>Limite (%): 100</p> <p>Componente Controlo: 11,3</p> <p>Actualizar Controladores</p> </div> <div> <p>Viragem</p> <p>Ganho Proporcional: 0,3</p> <p>Ganho Integral: 0,5</p> <p>Ganho Derivativo: 0</p> <p>Limite (%): 100</p> <p>Componente Controlo: 2,3</p> <p>Pé no ar</p> <p>Kp Realimentação (%): 0,3</p> </div> <div> <p>Constantes de corrente</p> <p>Corrente inicial erro (A): 8</p> <p>Limite de protecção (A): 12</p> <p>Componente Controlo: 0</p> <p>Ganho Integral de Corrente</p> <p>Percentagem de Kp (%): 20</p> <p>Decaimento do erro de corrente</p> <p>Kp Realimentação (%): 0,1</p> </div> </div>					

Figura 35 - Separador "Controladores"

No lado esquerdo do separador encontram-se as configurações possíveis para o controlador de aceleração linear. Este controlador actua com base no ângulo de inclinação para a frente do condutor. O ganho proporcional deste controlador cria uma parte

proporcional ao ângulo, o ganho integral cria outra parte proporcional ao integral do ângulo e por fim o ganho derivativo cria uma parte proporcional à variação do ângulo. O valor máximo admissível para cada uma destas constantes é 100 e o mínimo é zero onde não terá peso no controlo. O campo do limite permite limitar o valor desta componente de controlo a uma percentagem do seu limite de saturação. Abaixo do limite é possível visualizar o valor da componente de controlo. O botão “Actualizar Controladores” permite enviar os valores dos controladores para o microcontrolador que comanda os patins.

Ao centro encontram-se as configurações para o controlador de viragem, ou seja, para o ângulo criado pelo condutor para a sua direita. Os ganhos deste controlador têm a mesma finalidade que o anterior. Uma componente de controlo com valor positivo significa que se procede a uma viragem à direita sendo o valor negativo correspondente a uma viragem à esquerda. O controlo “Pé no ar” permite anular a componente de viragem, ao reduzir a percentagem estipulada à componente de controlo a cada 100ms.

Do lado direito encontra-se os campos relativos ao controlador de corrente, este controlador tem um funcionamento diferente dos anteriores. Assim, é necessário estipular a corrente a partir da qual o controlador começa a gerar uma componente de controlo e outra corrente maior que a anterior para o qual o controlador provocará o corte por acção de um ganho proporcional. É possível adicionar um ganho integral em percentual do ganho proporcional determinado a partir dos valores escolhidos para a corrente. O decaimento desta componente acontece quando a intensidade de corrente nos motores se encontra abaixo do valor de início de erro de corrente estipulado pelo utilizador, através de uma redução da percentagem estabelecida a cada 100ms.

5.4. Separador “Sensores de força”

O quarto separador é o de configuração dos sensores de força dos patins e consecutivamente também da projecção do centro de massa. A sua apresentação é a que se encontra na próxima figura.

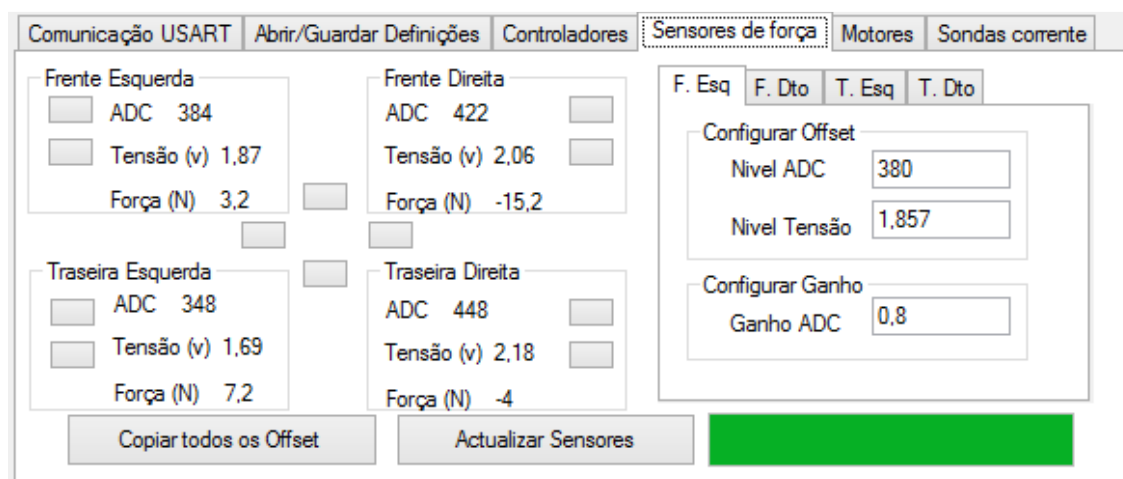


Figura 36 - Separador "Sensores de força"

Neste separador é possível controlar todos os aspectos inerentes aos sensores. Cada sensor tem um *offset* associado, ou seja, apresenta um valor de tensão diferente de zero mesmo sem a aplicação de qualquer força sobre o sensor. Depois de retirado o valor do *offset* é aplicado um ganho ao valor da leitura do sensor. O *offset* pode ser configurado para todos os sensores ao mesmo tempo, para isso o utilizador deve carregar no botão “Copiar todos os *offset*” com os patins em repouso, sem pesos extra sobre os sensores. Afições do *offset* ou reconfiguração da projecção do centro de massa podem ser alcançados nas opções do lado esquerdo. Para cada sensor existem dois botões que permitem aumentar ou reduzir o *offset*. Foram adicionados mais quatro botões, que através de alterações dos valores de *offset*, permitem mover a projecção do centro de massa para a frente, para trás, para a esquerda ou para a direita. O ganho de cada sensor deve ser configurado manualmente para cada sensor do lado direito do separador.

Por fim, é necessário carregar no botão “Actualizar Sensores” para actualizar os valores finais dos *offsets* e ganhos.

5.5. Separador “Motores”

O quinto separador é relativo aos motores dos patins. Veja-se a sua apresentação na Figura 37.

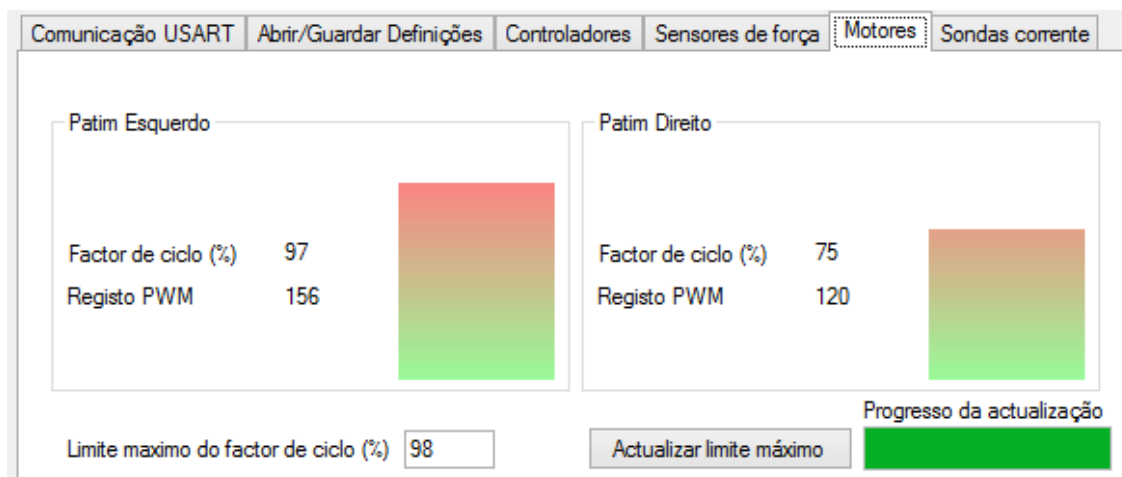


Figura 37 - Separador "Motores"

Para cada um dos patins é apresentada a informação sobre o valor do factor de ciclo em percentagem e do valor do registo utilizado no módulo de PWM respectivo no microcontrolador. Esta informação é apresentada tanto em valor absoluto como em aspecto gráfico através de uma barra que cresce verticalmente com o valor do factor de ciclo. Do lado esquerdo tem-se os dados relativos ao patim esquerdo, sendo representados do lado direito os dados do patim direito.

A única configuração permitida neste separador é a de um limite máximo para o factor de ciclo a aplicar aos dois patins. O botão “Actualizar limite máximo” envia para o respectivo valor para microcontrolador.

5.6. Separador “Sondas corrente”

O sexto e último separador é o mais elementar de todos e apresenta apenas informação sobre as sondas de corrente nos conversores de potência das placas dos motores, nomeadamente a tensão eléctrica na saída e a intensidade de corrente a que corresponde. O nível do ADC no microcontrolador também é apresentado, tal como o representado na Figura 38.

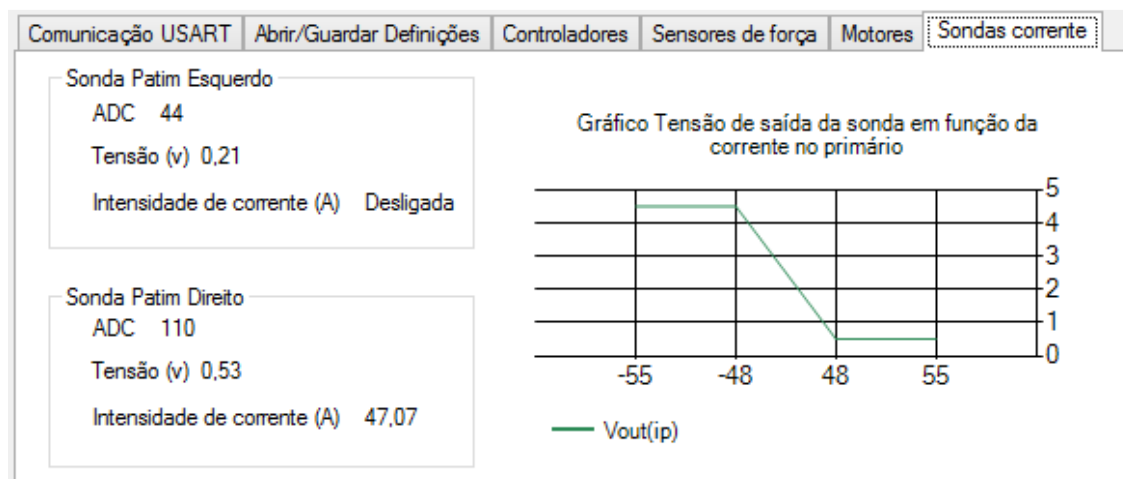


Figura 38 - Separador "Sondas corrente"

5.7. Programação da aplicação

A aplicação de interface com o utilizador é desenvolvida em Microsoft Visual Studio 2012 com auxílio da referência [11]. A programação é orientada a eventos, como é o caso de acções do utilizador e da recepção de dados na porta série. Os eventos associados ao utilizador estão relacionados com o carregar nos botões ou alteração de caixas de texto no programa. Sempre que o programa recebe uma string de dados do microcontrolador são actualizados campos do programa com base nos valores recebidos.

5.7.1. Eventos desencadeados pelo utilizador

Os eventos utilizados relativamente a acções em caixas de texto são de dois tipos. Um tipo de evento dispara sempre que é alterado o conteúdo da caixa de texto e o outro é disparado sempre que se sai da caixa de texto. As caixas de texto cujo valor é utilizado por outros eventos são protegidas quanto à sua edição a cada vez que são alteradas. Esta protecção impede que o utilizador introduza letras em caixas que devem ser numéricas impedindo que o programa tente multiplicar um número com algo que não o seja. Caixas que não são críticas a esse ponto estão protegidas apenas quando o utilizador sai da caixa. Qualquer caixa de texto pode chamar mensagens de erro que informam o utilizador do tipo

de erro introduzido e o que fazer para o corrigir, substituindo o valor errado por um estipulado por defeito.

Um tipo de evento desencadeado pelo utilizador é o de carregar num dos botões da aplicação. Logicamente que cada botão executa acções diferentes conforme a função a que foi destinado. As acções desencadeadas por cada botão são explicadas de seguida.

- Botão de Iniciar/Parar – Tenta abrir a porta serie que está seleccionada na lista abaixo do botão. Se não estiver nenhuma porta seleccionada ele actualiza as portas existentes para a lista. Também coloca no seu nome “Parar” ou “Iniciar” conforme o estado da porta.
- Botão “Guardar ficheiro” – Guarda o valor de todas as configurações existentes nos campos do programa para um ficheiro. Caso exista um ficheiro com o mesmo nome o anterior é removido para a reciclagem e é criado um novo. O nome do ficheiro vem da caixa de texto respectiva e a extensão é “patins”.
- Botão “Abrir Pasta” – Conduz o usuário a uma nova janela onde pode escolher o caminho da pasta onde se encontram os ficheiros de configuração.
- Botão “Apagar ficheiro” – Se estiver algum ficheiro seleccionado na lista, envia-o para a reciclagem.
- Botão “Abrir ficheiro” – Abre para o programa as configurações que estiverem seleccionadas nas *checkbox* ao lado, atenção que por si só não envia para o microcontrolador.
- Botão “Actualizar patins” – Coloca o valor zero na respectiva caixa de progresso e consecutivamente por acção de um outro evento serão enviados todos os dados de configuração do programa para o microcontrolador.
- Botão “Actualizar controladores” – Coloca a zero a respectiva barra de progresso e consecutivamente serão actualizados os valores das constantes dos controladores no microcontrolador.
- Conjunto de botões na zona de *offset* dos sensores – Existe um conjunto de botões no separador “Sensores de força” que permitem mudar o progressivamente o valor do *offset* dos sensores no programa. Note-se que estes botões não actualizam o microcontrolador, para isso terão de ser enviados os dados.
- Botão “Copiar todos os *offset*” - Este botão permite copiar a actual leitura dos sensores para o offset centrando a projecção do centro de massa.

- Botão “Actualizar Sensores” – O botão limpa a devida barra de progresso e em consequência disso serão enviados para o microcontrolador dados relativos ao *offset* e ao ganho de todos os sensores.
- Botão “Actualizar limite máximo” – Limpa a barra de progresso, após o que será enviado o valor máximo admissível de factor de ciclo do sinal de PWM para o microcontrolador.

5.7.2. Outros eventos

São poucos os eventos que não estão associados ao utilizador, no entanto, a sua função é fundamental para o bom funcionamento do programa. Os eventos são os seguintes.

- Recepção de dados na porta serie – Este evento está associado a um objecto do tipo porta serie e é configurado para ocorrer sempre que o número de bytes recebidos na porta atinge um determinado valor. Por outras palavras, ocorre sempre que recebeu a string de dados do microcontrolador. Como a string de dados contém informação codificada de variáveis do microcontrolador, neste evento a informação é decodificada e actualizada para os campos a que se destinam, como é o caso de labels, das barras indicadoras do sinal de PWM e da projecção do centro de massa. Este evento também pode enviar um byte de dados a cada vez que ocorre (se as barras de progresso no programa não se encontrarem com o seu valor máximo). Neste último caso, e só nesse caso, será enviado um byte pedido pelo microcontrolador. Apesar de o microcontrolador enviar sempre uma string de dados a cada ciclo de controlo, o programa só envia um byte a cada ciclo para o microcontrolador. O programa deixa de enviar os dados no final de preencher a respectiva barra de progresso. Optou-se por proceder desta forma porque não há a necessidade de actualizar o controlador a todo o momento, conseguindo-se reduzir o tempo de cada ciclo de controlo no microcontrolador.
- Alteração de ficheiros na pasta seleccionada no botão “Abrir Pasta” – Este evento está associado a um objecto que está constantemente a observar alterações na respectiva pasta. Mesmo que a pasta seja editada via outro programa, por exemplo no sistema operativo, o evento actualiza para a lista de ficheiros os existentes no momento.

6. Caderno de encargos para a produção seriada

O objectivo é chegar a uma versão final possível de comercializar para as massas e este caderno analisa os encargos inerentes.

6.1. Objectivos

Com este caderno de encargos pretende-se desenvolver uma unidade de produção em serie de patins eléctricos o que engloba os seguintes pontos:

- Organização do local de produção (Layout).
- Equipamento e ferramentas necessárias.
- Qualificações e formações necessárias.
- Desenvolvimento de uma base de dados para as avarias que as relacione com as causas e procedimentos necessários para a resolução.

Actualmente as principais limitações são as seguintes:

- Orçamentos de investigação reduzidos.
- O protótipo actual necessita de melhoramentos ao nível mecânico.
- As baterias de lítio mantêm um preço elevado o que tem como consequência um preço relativamente elevado para o produto final, caso se opte pela sua utilização.

O principal benefício é a obtenção de uma unidade de montagem capaz de dar resposta à demanda espectável do mercado. Espera-se atingir uma utilização inteligente do espaço, permitindo flexibilidade e um rápido ajuste da área útil às tarefas executadas na empresa no caso de se subcontratar serviço inerente a mais alguma das etapas. Também se destaca a qualidade de excelência do produto final, contribuindo para uma boa imagem da empresa. Outro dos benefícios é de carácter ecológico, contribuindo com uma redução da emissão de gases de efeito de estufa. Através de uma base de dados deve garantir-se a existência de um histórico das avarias dos patins que possa ser utilizado para efeitos de investigação e desenvolvimento.

6.2. Características funcionais

Os patins que são o principal produto da empresa envolvem bastante trabalho manual. A sua produção deverá operar num layout orientado ao processo, visto que daí resulta que, tanto o espaço inicial como o número de funcionários sejam reduzidos. Nesse sentido é conveniente adoptar um layout que centralize no mesmo local todas as máquinas necessárias ao tipo de operação. Este layout é obtido através de duas bancadas, onde, uma se destina à montagem das partes mecânicas e outra aos processos relacionados com electrónica. Se for verificável um crescimento significativo, a empresa deverá considerar a transição para um layout orientado ao produto porque grande parte das tarefas é obrigatoriamente executada de forma sequencial.

A produção dos patins pode ser dividida em tarefas elementares cujos tempos médios previstos para a sua execução são os apresentados na tabela seguinte.

Actividade	Precedência	Descrição	Duração (minutos)
A	---	Cortar tubo, barras e eixo	10
B	---	Operações de torno mecânico	30
C	A,B	Perfurações nas bolachas e estrutura	20
D	C	Soldar bolachas aos eixos	15
E	D	Montagem do motor e sistema de tracção	60
F	---	Impressão e perfuração das placas de circuito impresso	25
G	F	Soldar componentes electrónicos	30
H	G,E	Montagem dos sensores de força	16
I	H	Instalação dos conversores de potência	5
J	I	Instalação das baterias	10
K	J	Fixação das botas à estrutura	20
L	K	Colocação das rodas	10
M	L	Instalação do controlador	20
N	M	Programação do controlador	4
O	N	Teste e afinação dos sensores de força	10

P	O	Teste final	20
Q	P	Embalamento	15
Total			320

Tabela 5 - Tempos das tarefas de montagem dos patins

As tarefas A, B, C e D são relativas a operações que serão subcontratadas a empresas locais. Existem dois aspectos principais que levam na escolha desta opção. As empresas subcontratadas têm maquinaria especializada que permite um melhor acabamento e além disso são as tarefas que criam mais sujidade como é o caso das limalhas e óleos.

Em caso de necessidade há a hipótese de dividir as tarefas E, G, H, I, J, K e L em duas de metade do tempo que podem ser desenvolvidas em paralelo, correspondendo ao patim direito e ao esquerdo. As actividades seguintes não podem ser divididas em menores.

A Figura 39 mostra a rede Pert respectiva à produção de cada par de patins.

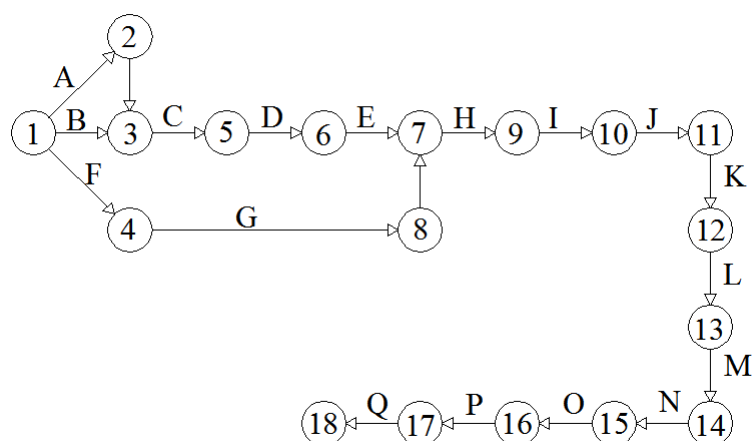


Figura 39 - Rede Pert da produção de patins

A zona de produção será dividida em duas bancadas por onde se dividem as tarefas realizadas. Como já foi referido, a concretização de algumas das tarefas será subcontratada. Assim, as operações encontram-se distribuídas conforme a próxima tabela.

Actividade	Duração (min)	Zona de trabalho
A	10	Subcontratada
B	30	Subcontratada
C	20	Subcontratada
D	15	Subcontratada
E	60	Bancada metalomecânica
F	25	Bancada Electrónica
G	30	Bancada Electrónica
H	16	Bancada Electrónica
I	5	Bancada Electrónica
J	10	Bancada Electrónica
K	20	Bancada metalomecânica
L	10	Bancada metalomecânica
M	20	Bancada Electrónica
N	4	Bancada Electrónica
O	10	Bancada Electrónica
P	20	Bancada metalomecânica
Q	15	Bancada metalomecânica

Tabela 6 - Distribuição do trabalho pelas bancadas

Os tempos de trabalho em minutos de cada zona são os seguintes

Zona de trabalho	Duração (min)	Duração (%)
Subcontratadas	75	23,44%
Bancada metalomecânica	125	39,06%
Bancada Electrónica	120	37,50%
Total	320	100,00%

Tabela 7 - Duração do trabalho em cada bancada

O tempo de trabalho é idêntico em cada uma das duas bancadas de produção e ambas devem ter tamanhos idênticos embora por motivos diferentes. A bancada de metalomecânica terá uma grande taxa de ocupação com componentes dos patins que mantêm uma dimensão considerável, por outro lado, a bancada de electrónica terá uma ocupação grande com base no diverso equipamento que lá se encontra. Ambas as bancadas

devem ter uma dimensão de 1m de lado por 3m de comprimento, iluminação própria, cor clara (branco ou creme) e com as arestas e vértices arredondados.

A bancada de electrónica casa com a parede ao longo do seu comprimento. A parede por cima desta bancada deve conter os esquemáticos de todas as componentes dos patins em tamanho mínimo A4 e de todas as placas de circuito impresso com os devidos componentes em tamanho mínimo A3. Por cima destes desenhos uma estante com caixas de arrumação de componentes electrónicos. Os componentes electrónicos devem estar arrumados em caixas com separadores e organizados pela necessidade de cada placa de circuito impresso. A esta bancada ficará afecto equipamento relativo à impressão das PCB, ferro de soldar, um multímetro portátil, uma fonte de corrente e uma mala de ferramentas diversas.

A bancada de metalomecânica será uma bancada mais orientada à montagem das diversas partes mecânicas dos patins como é o caso do motor e sistema de engrenagens. Esta bancada deve permitir a circulação dos trabalhadores em torno da maior parte do seu perímetro. Imediatamente de um dos lados deve encontrar-se o *kit* de ferramentas de metalomecânica. Este kit deve conter todas as ferramentas necessárias à montagem dos patins e deve estar organizada de forma que cada ferramenta tenha a sua localização claramente especificada e cuja falta de uma ferramenta seja rapidamente notada.

A terceira bancada presente tem a finalidade de acomodar as necessidades de investigação e desenvolvimento e assistência a avarias. Não deve ser utilizada normalmente para efeitos de produção e deve incluir um osciloscópio, um multímetro de bancada, uma mala de ferramentas completa, uma fonte corrente e duas estantes de arrumos diversos. A próxima figura apresenta a planta final das instalações numa área de 35m² (7m por 5m) incluindo a zona de escritório e a casa de banho.

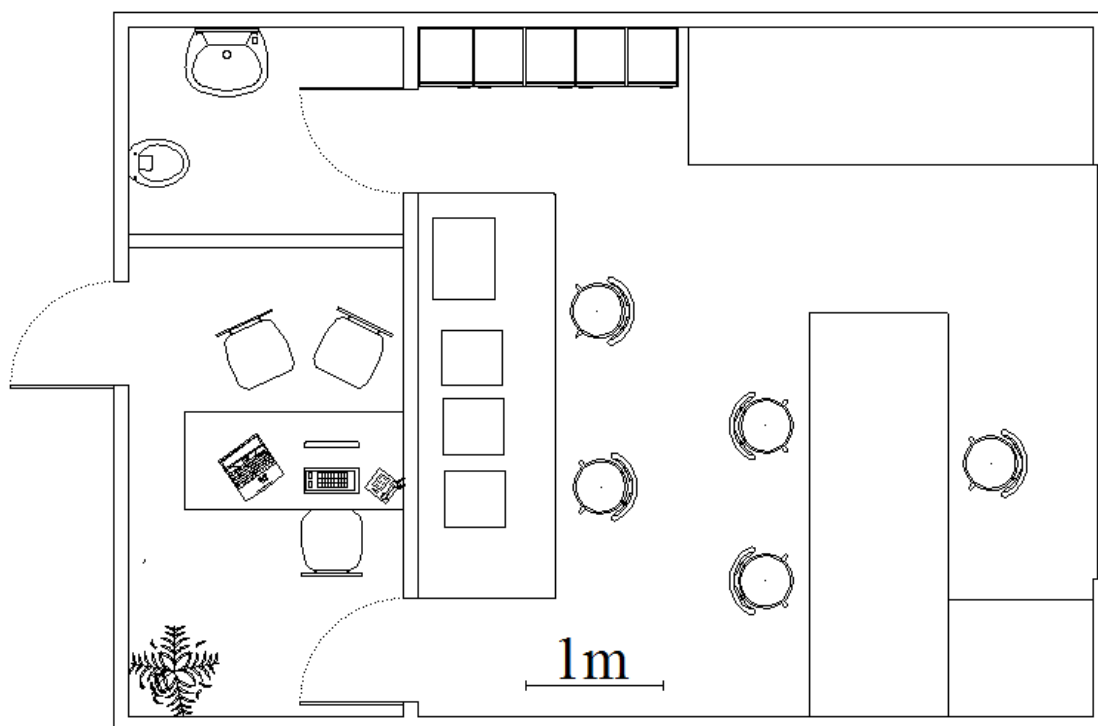


Figura 40 - Planta das instalações

6.3. Documentação

Do ponto de vista do produto final para clientes, deve ser desenvolvido um manual do utilizador que explique de forma clara todas as funcionalidades dos patins.

Deve ser ainda desenvolvida uma estrutura de tabelas de bases de dados como suporte documental, que sirva de suporte às assistências e reparações bem como para a investigação e desenvolvimento. A base de dados deve incluir entre outras as seguintes tabelas genéricas.

- Clientes
- Equipamentos
- Tipo de Avaria
- Avarias
- Causas de avarias
- Procedimentos na resolução de avarias

Na construção das relações entre tabelas deve ter-se em conta que cada cliente pode ter mais de um equipamento, cada equipamento pode ter várias avarias e cada avaria pode ter várias causas. Cada avaria será de um tipo. Cada avaria tem vários procedimentos na sua resolução. Estas e outras situações devem ser levadas em conta na concepção da base de dados. No entanto deve-se ter em conta que esta deve ser simples e permitindo informar correctamente daquilo que realmente interessa.

6.4. Formação

Considera-se que para executar todas as tarefas da montagem de patins os funcionários devem ter no mínimo uma formação de nível IV na área de electrotecnia ou mecânica. Para a área de investigação e desenvolvimento serão uteis conhecimentos na área das engenharias de electrotécnica, mecânica e informática. A formação terá uma duração prevista de 2 semanas podendo alongar-se até às 5 semanas consoante o nível de conhecimentos iniciais do operador. A formação deve garantir que o formando consiga executar facilmente todas as tarefas sem excepção e ainda identificar possíveis origens em problemas provocados no protótipo. Todos estes pontos serão incluídos numa avaliação final.

6.5. Metodologia de desenvolvimento

A implementação da linha passará pelas seguintes fases distintas:

Primeira fase

A primeira fase é desenvolver um protótipo final, para isso deve ser desenvolvido e testado um protótipo construído com componentes que possam ser adquiridos em serie. Devem ser tidos em conta todos os aspectos enunciados ao longo deste relatório na escolha do material, em especial das baterias.

De seguida apresentam-se os diversos componentes necessários para montar os patins, sendo que de algumas listas são necessárias todas as componentes. Nos motores, baterias e carregador das baterias deve ser escolhida apenas uma das linhas, nos restantes campos será necessário todos os componentes listados. As listas são as seguintes:

Item	Quantidade	Preço unitário (€)	Preço total (€)
Motores			
Motor electrico 350w 24v	2	70,18 €	140,36 €
Motor electrico 500w 24v	2	85,78 €	171,56 €
Baterias			
Pack de duas baterias AGM - 12 Ah 24v	1	57,70 €	57,70 €
Pack de duas baterias AGM - 15 Ah 24v	1	77,98 €	77,98 €
Pack de duas baterias LifePO4 - 24v 15Ah	1	480,42 €	480,42 €
Pack de duas baterias LifePO4 - 24v 20Ah	1	589,60 €	589,60 €
Carregador baterias			
Carregador de baterias standard 24v 2.0A	1	19,49 €	19,49 €
Carregador de baterias standard 24v 4.0A	1	31,19 €	31,19 €
Carregador de baterias LifePO4 - 4A 24v	1	25,74 €	25,74 €
Rodas			
Jante plástico 150x30 com pneu e câmara 6x1.1/4	4	22,14 €	88,56 €
Roda livre (dianteira)	2	10,95 €	21,90 €
Acessórios			
Estrutura (base do patins)	2	6,00 €	12,00 €
Barra fixação às botas	2	2,00 €	4,00 €
Peças de suporte dos sensores de força	4	0,50 €	2,00 €
Sistema de engrenagens + tracção	2	15,00 €	30,00 €
Botas	1	25,00 €	25,00 €
Sensores de força			
Flexiforce A301	4	12,67 €	50,69 €
Electrónica			
Placa Sensores	2	24,38 €	48,76 €
Placa Controlador	1	16,95 €	16,95 €
Placas Potencia	2	26,34 €	52,68 €

Tabela 8 - Hipóteses de componentes dos patins

A tabela seguinte permite perceber os componentes electrónicos utilizados assim como a sua localização nas respectivas placas.

	Componente	unidades	preço unitário (€)	Preço total
Placa Sensores	PCP	2	3 €	6 €
	Condensador 100nF	8	0,02 €	0,16 €
	Condensador 68nF	4	0,02 €	0,08 €
	Resistência 180kΩ	4	0,02 €	0,08 €
	Resistência 8,2KΩ 1%	8	1 €	8 €
	Resistência 10KΩ	8	0,02 €	0,16 €
	Resistência RE	4	0,02 €	0,08 €
	AD620	4	8,55 €	34,2 €
	TOTAL			48,76 €
Placa Controlador	PCB	1	4 €	4 €
	PIC18F458	1	6,17 €	6,17 €
	Max232	1	1,02 €	1,02 €
	Regulador de tensão 7805	1	1,5 €	1,5 €
	Suporte Dip8	1	0,5 €	0,5 €
	Condensador 0,1uF	2	0,02 €	0,04 €
	Condensador 10uF	4	0,02 €	0,08 €
	Condensador 100uF	5	0,02 €	0,1 €
	Resistência 10kΩ	2	0,02 €	0,04 €
	Porta COM	1	3,5 €	3,5 €
	TOTAL			16,95 €
Placas Potencia	PCB	2	4 €	8 €
	LTS 15NP	2	14,57 €	29,14 €
	Regulador de tensão 7805	2	1,5 €	3 €
	IR2103	2	2,97 €	5,94 €
	IRF640	2	2,96 €	5,92 €
	1n4933 diodo	6	0,02 €	0,12 €
	Resistência 1Ω	4	0,02 €	0,08 €
	Resistência 15Ω	4	0,02 €	0,08 €
	Condensador 100nF	6	0,02 €	0,12 €
	Condensador 220nF	4	0,02 €	0,08 €
	Condensador 330uF	4	0,02 €	0,08 €
	Diodo zener 18V	4	0,02 €	0,08 €
	22uF bootstrap	2	0,02 €	0,04 €
	TOTAL			52,68 €

Tabela 9 - Componentes das placas de circuito impresso

Algumas das hipóteses de montagem são apresentados no próximo capítulo.

Segunda fase

A segunda fase passa por adquirir os equipamentos indicados às operações de montagem e adequar as instalações conforme o indicado nas características funcionais.

Terceira fase

Esta fase pode eventualmente ser desenvolvida em simultâneo com a fase anterior e envolve a formação das pessoas que vão estar envolvidas na montagem dos patins. Esta formação pode ser mais ou menos longa dependendo do nível de formação inicial dos envolvidos, no entanto, deve ser garantido que ficam habilitados à execução de todas as fases.

Quarta fase

Na quarta fase será iniciada a produção de patins. Esta será, no entanto, acompanhada pela equipa de desenvolvimento do protótipo. Esta fase irá garantir que efectivamente as pessoas ficaram qualificadas às devidas funções e terá uma duração de 2 a 4 semanas.

Quinta fase

Na quinta fase será continuada a produção de patins, no entanto, sem acompanhamento da equipa de desenvolvimento do protótipo. Dão-se por completas todas as fases necessárias à implementação da linha de produção seriada do produto.

7. Viabilidade económica do produto

7.1. Sumário executivo

A missão da “EcoWheels” é a criação de sistemas de transporte individual de pessoas em meios urbanos, orientada por critérios de originalidade e sustentabilidade, contribuindo para uma redução do ruído e gases poluentes.

Para operar, a empresa necessita de um local com um escritório e uma pequena oficina para a montagem dos patins. As instalações iniciais serão numa garagem que será cedida à empresa até que se justifique a mudança para instalações maiores. A garagem já se encontra equipada com as ferramentas e máquinas necessárias à montagem dos patins.

A empresa não pretende internacionalizar-se nos primeiros anos, visto que pretende implementar uma política de proximidade com o cliente, com assistências regulares em que o cliente informe de possíveis problemas técnicos que possam surgir ou de melhorias que gostasse de ver implementadas.

Os potenciais clientes são empresas que gostariam que os seus empregados se deslocassem mais rapidamente. Em empresas de segurança o produto permite que as rondas sejam efectuadas mais rapidamente ou que no mesmo tempo se verifique uma área maior do perímetro. Para grandes empresas armazenistas em que os empregados tenham de se deslocar constantemente em distâncias grandes, para ir buscar pequenos produtos, consegue-se reduzir a fadiga e melhorar os tempos de deslocação. Além das melhorias nos tempos dos funcionários, as superfícies comerciais que adquirem os patins serão mais facilmente motivo de conversa entre os seus clientes que ficaram curiosos com os patins, podendo atrair novos clientes que optaram por ir ali fazer as suas compras só para ver como são os patins.

Outros clientes serão pessoas que se deslocam regularmente em meio urbano e que não queiram procurar um sítio para estacionar ou esperar pelos horários do transporte público, ou simplesmente porque gostaram dos patins e querem “ter uns para andar”.

A empresa pretende chegar aos clientes na internet através de uma página própria, nas redes sociais e envio de emails para empresas que se considerem potenciais compradoras. Em alguns casos utiliza-se também o envio de cartas para empresas com

propostas específicas onde pode também ser sugerida uma apresentação do produto. Também se tentará promover o produto em feiras tecnológicas ou outras.

A empresa não pretende criar um elevado stock inicial de produtos, assim cada vez que um cliente pretender adquirir um equipamento deve pagar 30% do valor desse equipamento no momento da encomenda. As componentes necessárias só serão encomendadas nos fornecedores após recebimento do primeiro pagamento. O prazo máximo estimado para recepção de todos os componentes é de 10 dias e o equipamento estará pronto e testado ao fim de mais dois dias.

A empresa iniciará a actividade com dois funcionários. Os trabalhos de metalomecânica necessários para os patins são todos subcontratados a empresas locais. Os dois funcionários da empresa devem conhecer a tecnologia implementada nos patins ao pormenor.

Os dois funcionários ficarão encarregues do marketing, na montagem, serviço de assistência a clientes e I&D.

Os pontos fortes da empresa são o domínio da tecnologia, custos fixos baixos para o início da actividade, visto que as instalações serão cedidas gratuitamente e a proximidade com o cliente. Os principais pontos fracos são uma baixa disponibilidade de recursos financeiros, falta de experiência na área de gestão e a capacidade de produção limitada.

O mercado onde os patins se inserem é no transporte individual de pessoal, nesta área já se apresentam algumas soluções como é o exemplo do popular Segway e outros similares. A originalidade do nosso produto aliado a um preço competitivo pode conduzir a empresa ao sucesso.

7.2. Apresentação sumária da empresa

Opta-se por constituir uma sociedade por cotas considerando duas cotas com o valor de 25 000€, perfazendo um capital social de 50 000€.

A principal actividade da empresa será a de manufacturação e venda de patins eléctricos indicados para pequenas deslocações em ambientes urbanos, o qual se inclui no seguinte código CAE.

30990 Fabricação de outro equipamento de transporte

7.3. Condicionantes da envolvente externa

7.3.1. Aspectos macroeconómicos

Este subcapítulo segue como referência o Relatório do Ministério das Finanças relativo ao Orçamento de Estado para 2014, citado na referência [9].

7.3.1.1. Evolução recente da economia internacional

As atuais projeções do Fundo Monetário Internacional (FMI) apontam para o abrandamento do crescimento da economia mundial, em 2013, para valores em torno de 2,9%. O comércio mundial de bens e serviços deverá registar um crescimento médio anual de 3,9%, em volume, nos anos de 2013 e 2014 - um valor superior ao crescimento de 2,8% registado em 2012, mas inferior ao valor médio registado na década de 2000 (5%). Face a julho de 2013, estas previsões constituem uma revisão em baixa do crescimento do Produto Interno Bruto (PIB) mundial para 2013 e 2014, devido sobretudo às perspetivas de um crescimento menos forte das economias emergentes, com particular destaque para a Índia e Rússia. A China viu também as suas perspetivas de crescimento revistas em baixa mas em menor grau. Esta evolução reflete a desaceleração da procura externa, preços de matérias-primas mais baixos, políticas económicas menos expansionistas e receios quanto à estabilidade financeira nalgumas economias emergentes.

Para 2014, prevê-se uma melhoria do desempenho da economia mundial, assente sobretudo no reforço do crescimento das economias avançadas onde se espera um crescimento relativamente forte dos EUA, um crescimento mais moderado no Japão e uma recuperação da economia da União Europeia (UE). Porém, é de referir que as economias

da UE continuam a evoluir de forma distinta, verificando-se um crescimento mais forte nos países bálticos e mais fraco nos países da área do euro sujeitos a programas de ajustamento económico.

7.3.1.2. Evolução recente da economia portuguesa. Tendências de evolução a curto prazo.

O programa de ajustamento económico acordado entre o governo português e o FMI e a U.E. está a ser executado desde 2011. Este programa incorpora uma estratégia que visa corrigir os desequilíbrios macroeconómicos e financeiros e proceder a uma alteração estrutural da economia portuguesa, criando as condições para um crescimento económico sustentado e gerador de emprego. A consolidação orça-mental, conjugada com um rápido ajustamento por parte das empresas e das famílias portuguesas, conduziu a uma forte contração da procura interna, mais acentuada em 2012 e no início de 2013. Este efeito de compressão da procura interna resultou num ajustamento dos saldos negativos da balança corrente mais rápido do que o inicialmente previsto, quer por via da redução das importações quer pelo aumento das exportações, muito associado ao esforço das empresas portuguesas na procura de novos mercados para colocação dos seus produtos. O ano de 2013 encontra-se contudo já marcado pelos primeiros sinais de inversão do ciclo económico, associados a uma estabilização da procura interna e à persistência de ganhos de quotas de mercado por parte das empresas exportadoras.

Apesar das condicionantes externas, nomeadamente os constrangimentos do mercado comunitário e as crescentes tensões nos mercados emergentes, as exportações de bens e serviços aceleraram no segundo trimestre de 2013, crescendo 7,3% quando comparadas com igual período do ano anterior. Esta evolução representou um ganho significativo de quotas de mercado. Também se assistiu a uma quebra homóloga significativamente inferior à do primeiro trimestre no consumo privado, e no investimento, não compensada pela recuperação das importações de bens e serviços.

Desde maio de 2011, o mercado de trabalho tem sido caracterizado por um aumento do desemprego, decorrente do ajustamento estrutural da economia portuguesa. No entanto, os resultados do inquérito ao emprego do INE para o segundo trimestre de 2013 revelam uma descida em cadeia da taxa de desemprego de 1,3 p.p. para 16,4%, explicada pela descida do número de pessoas desempregadas. Em termos homólogos, a taxa de

desemprego subiu 1,4 p.p. devido à redução da população ativa e ao aumento da população desempregada. No que diz respeito ao desemprego de longa duração, a taxa situou-se em 10,2% no segundo trimestre de 2013, abaixo do valor do trimestre anterior (em 0,2 p.p.), mas acima do registado no período homólogo (em 2,2 p.p.). Quanto ao desemprego jovem, a respetiva taxa atingiu 37,1% no segundo trimestre de 2013, menos 5 p.p. do que trimestre precedente e mais 1,6 p.p. que no período homólogo.

7.3.2. A actividade da empresa

O negócio e missão empresarial

Âmbito	Cientes
	<ul style="list-style-type: none"> - Superfícies comerciais - Particulares - Pessoas “amigas do ambiente” - Empresas de segurança
Produto/mercado	Funções servidas
	<ul style="list-style-type: none"> - Patins eléctricos; - Assistência/manutenção gratuita nos primeiros anos.
Outros componentes da missão da empresa	Tecnologias
	<ul style="list-style-type: none"> - Trabalho manual; - Programação de microcontroladores; - Trabalhos metalomecânicas.
	Mercados geográficos
	<ul style="list-style-type: none"> - Mercado nacional; - Mercados internacionais.
	Atitude face à performance
	<ul style="list-style-type: none"> - Dar resposta rápida ao cliente; - Proximidade com o cliente.
	Atitude face ao risco
	<ul style="list-style-type: none"> - Não se pretende assumir riscos elevados.
	Responsabilidade social
	<ul style="list-style-type: none"> - Redução na emissão de gases; - Cumprir legislação de segurança; - Contribuir com uma alternativa de transporte.
	Filosofia e características distintivas
	<ul style="list-style-type: none"> - Criatividade; - Inovação.

Tabela 10 - Quadro resumo da actividade da empresa

7.3.3. Estádio de maturidade do sector

A empresa EcoWheels vai operar no sector dos veículos de transporte individual, no entanto, num ramo relativamente recente que é o dos veículos eléctricos. Apesar de já existirem há décadas estudos de veículos eléctricos, estes só se tornaram economicamente viáveis há alguns anos principalmente devido à evolução da tecnologia ao nível de armazenamento de energia em baterias. Evoluções ao nível dos componentes electrónicos como os microcontroladores e dos semicondutores também se têm mostrado fundamentais.

Cada vez existem mais automóveis em circulação nas grandes cidades e em muitos casos é impossível continuar a crescer ao ritmo que se tem verificado. A emissão de gases poluentes destes veículos afecta seriamente a qualidade do ar nos meios mais densamente populosos. Por outro lado, a actual crise energética associada aos combustíveis fósseis conduzirá as pessoas a utilizar veículos mais eficientes e neste sentido os veículos eléctricos são a melhor aposta. Do ponto de vista do preço por quilómetro percorrido os veículos eléctricos de transporte individuais são normalmente os mais económicos e são com certeza uma excelente opção de compra para quem se desloca regularmente sozinho. Os veículos de transporte individual não poluentes irão dominar no futuro.

Neste ramo emergente destacam-se equipamentos como o Segway, os monociclos Solowheel e o Ryno e algumas versões de skates com comando manual. Os únicos patins eléctricos no mercado são os Skataz e os iShoes, ambos do mesmo criador. Os dois partilham alguns defeitos, o principal é que apenas uma das botas tem motor e portanto apenas essa tem tracção. Deste modo o condutor não consegue ter uma postura anatomicamente correcta enquanto anda, visto que, o corpo vai de arrasto atrás de um patim. Estes são também pouco práticos de conduzir. Além disso, o comando é manual, o condutor utiliza a mão do lado do patim que tem motor para controlar a aceleração e travagem.

7.3.4. Factores externos

Entre os factores externos destacam-se os identificados nos pontos seguintes

7.3.4.1. Factores económico-sociais

A actual crise económica tem afectado negativamente Portugal, conduzindo a uma elevada taxa de desemprego. A contínua redução da poupança das famílias portuguesas conduziu progressivamente a que estas sejam das com os níveis de endividamento mais elevados do mundo. Do lado das empresas, a aceitação do produto estará ligada essencialmente a factores de poupança, visto que muitas empresas se encontram em dificuldades devido à retracção do consumo.

A nível internacional o panorama também não é o melhor. O nível de crescimento de muitos países está longe do necessário para dar a resposta ao desemprego. A economia americana tem abrandado e prevê-se que o seu crescimento seja escasso, rondando os 1,7% em 2013.

As dificuldades económicas na Europa e Estados Unidos têm forte impacto nos países menos desenvolvidos, visto que estas reduzem significativamente a procura dos bens de exportação destes países.

7.3.4.2. Factores político-legais

Qualquer veículo eléctrico, seja este para vários ocupantes ou só para o condutor, para que possa ser comercializado tem que respeitar as normas das Comissões Técnicas Portuguesas de Normalização. A comissão técnica CT 146 regula as normas de segurança e desempenho dos veículos eléctricos rodoviários. As normas apresentadas pela CTE 69 regulam a segurança e fiabilidade dos sistemas eléctricos dos próprios veículos eléctricos rodoviários de tração total ou parcial. Os circuitos auxiliares que não sejam usados para a propulsão encontram-se fora do raio de acção desta norma. A maioria das normas estabelecidas pela Comissão Técnica em Portugal são transcrições das normativas europeias. Adoptando essas normas com a maior celeridade possível, o produto torna-se mais fiável e com maior capacidade de penetração do mercado, a fim de conquistar o maior número de clientes possível.

7.3.4.3. Factores tecnológicos

A empresa será afectada positivamente se houver significativos desenvolvimentos ao nível das baterias. Baterias melhores irão permitir aumentar a autonomia e/ou reduzir o peso dos patins. Esta melhoria no equipamento iria atrair novos clientes que procuram uma solução para viagens um pouco maiores.

7.3.4.4. Factores concorrenciais

Pretende-se registar uma patente que proteja os direitos sobre a tecnologia implementada nos patins. Ainda assim é provável que surjam novas ideias inovadoras ao nível dos veículos eléctricos individuais. A globalização assenta na multiculturalidade e nesse sentido há-de haver sempre quem goste de um pouco de tudo. Os patins apresentam características claras de diferenciação.

Considera-se que o poder negocial dos principais fornecedores é elevado porque dificilmente se conseguirá negociar prazos de pagamento nos componentes de custo mais elevado, nomeadamente motor e baterias. Apesar de tudo não se prevê subidas significativas de custos, antes pelo contrário. As componentes electrónicas encontram-se dimensionadas para poder funcionar com vários tipos de motores e baterias e em ambas as áreas existem variadíssimos fornecedores. Apesar de tudo uma troca de fornecedor de motor implicaria uma reestruturação do chassis o que implicaria novos custos de I&D de forma a fazer a nova adaptação mecânica. Ao nível das baterias não haverá problemas significativos de reestruturação do chassis, é apenas necessário verificar que as novas baterias se adequam ao espaço que lhes foi reservado. Uma possível necessária reprogramação do microcontrolador será fácil para qualquer motor e ou baterias. Ao nível dos componentes electrónicos a concorrência também é elevada e o preço tende mais a reduzir-se do que a aumentar.

O poder negocial dos clientes pode ser alto no caso de empresas que pretendam adquirir vários patins. Não será aberta grande margem a negociação para o caso dos clientes particulares que pretendam obter apenas um equipamento.

Existem vários produtos que podem ser sucedâneos aos patins no entanto pela originalidade, pelas diferenças distintas e preço competitivo não se considera que haja um outro meio específico de transporte específico que seja uma forte ameaça ao sucesso da empresa.

A rivalidade neste sector é elevada. É muito possível que apareçam produtos bastante idênticos com proveniência da China se a empresa atingir um impacto de mercado muito acima do esperado e as patentes não forem devidamente explicativas. Um ano após expirar o prazo de 20 anos da patente do Segway já existem produtos bastante similares produzidos na China com características em alguns casos melhores. O Robin M1 Robstep apresenta as características de autonomia e potência do modelo Segway mais recente mas

além disso é totalmente impermeável permitindo andar dentro de água com uma profundidade de 20cm e pode ser ligado a tablets ou outros equipamentos com sistema operativo Android. A maior vantagem competitiva deste equipamento em relação ao Segway é que o preço é inferior a 40% do valor do Segway, 2250€ contra 7000€. Apesar de no panorama internacional haver grandes rivalidades, no panorama nacional não se verifica marketing agressivo por parte de nenhuma empresa. Em caso de alguém pretender adquirir algum equipamento, o melhor meio de o fazer é a partir da internet, em alguns casos esta é mesmo a única forma de o fazer. Na Figura 41 apresentam-se alguns dos produtos rivais do desenvolvido.



Figura 41 - Produtos concorrentes

7.3.5. Síntese de ameaças e oportunidades

O próximo quadro apresenta uma síntese dos factores críticos de sucesso externos.

Factores Externos			
Oportunidades		Ameaças	
1	Sector emergente	1	Possibilidade de roubo de ideia
2	Globalização das economias	2	Actual crise económica
3	Redução da poluição	3	Risco de baixa aceitação do produto
4	Baixa concorrência no mercado nacional	4	Aumento da regulamentação

Tabela 11 - Quadro de factores externos

7.4. Condicionantes da situação interna

7.4.1. Lógica evolutiva da empresa/ideia de negócio

Os patins começaram a ser desenvolvidos num projecto final do curso de engenharia electrotécnica e de computadores, e continuam em desenvolvimento como projecto do mestrado em controlo e electrónica industrial. De momento existe um protótipo funcional onde se encontram em teste várias tipologias de controlo. Cabe à empresa desenvolver o produto final com base no protótipo. A utilidade prática dos patins e a inovação que apresentam do ponto de vista de mercado levou à criação desta empresa.

7.4.2. Caracterização da estrutura e dos recursos da empresa

7.4.2.1. Produtos e mercados

Mix de produtos

O principal produto da empresa são os patins eléctricos, os quais para além do tamanho da bota terão algumas opções possíveis na potência e autonomia dos mesmos. A empresa opta por utilizar materiais de longa longevidade de forma a construir um equipamento com uma durabilidade média superior a cinco anos, sendo esta de três no caso das baterias.

Os patins são controlados pelo movimento do centro de massa do condutor, não sendo necessário qualquer comando adicional. Se o condutor se inclinar para a frente os patins vão avançar, se se inclinar para trás estes irão travar. Para virar o condutor inclina-se para um dos lados e consegue deste modo obter a curvatura pretendida. Este controlo baseia-se em seis sensores. Em cada patim são colocados dois sensores de força, um na dianteira e outro na traseira. Para controlar a força aplicada em cada patim existe um outro sensor que permite calcular a força exercida no patim com base numa leitura da intensidade de corrente no motor do respectivo patim. Os quatro sensores de força permitem calcular uma projecção do centro de massa sobre a base do patins e deste modo o controlador sabe para onde o condutor tem o corpo inclinado. O controlo de corrente serve como forma de proteger o equipamento de correntes excessivas que danificariam ou o motor ou as placas de potência. Juntamente com os patins será fornecido um software que permite ao utilizador ligar os patins ao computador e em ambiente Windows pode configurar o controlo dos patins totalmente a seu gosto. Além dos patins serão construídas mochilas para ligação aos patins possibilitando assim aumentar a autonomia dos mesmos.

Os patins que a empresa oferece não apresentam o principal problema dos produtos mais similares oferecido pela concorrência, ou seja os patins Skataz e iShoes. Como já foi mencionado anteriormente, os patins da concorrência têm tracção apenas num dos patins o que não permite uma postura correcta do corpo tornando-se pouco práticos de andar. Comparando o nosso equipamento com um caso de sucesso do sector que é o Segway pode dizer-se que a principal vantagem frente ao Segway é que o presente facilita a utilização em escadas, como principal desvantagem este apresenta o tempo de que o utilizador necessita para dar uso ao equipamento. No caso do Segway e outros basta subir para o veículo enquanto que nos patins é necessário dispendir tempo a trocar o calçado.

Os patins serão patenteados visto que o risco de roubo da ideia é bastante provável com a internacionalização do produto.

Segmentos de mercado, clientes e comportamentos de compra

Os potenciais clientes são empresas que pretendam aumentar a produtividade dos seus funcionários ou que pretendam que estes se desloquem mais rapidamente. Em empresas de segurança estes permitem que as rondas sejam efectuadas mais depressa ou que no mesmo tempo se verifique uma área maior do perímetro. Para grandes empresas armazenistas em que os empregados tenham de se deslocar constantemente ao longo de

distâncias grandes para ir buscar pequenos produtos consegue-se reduzir a fadiga e melhorar os tempos de deslocação. Além das melhorias nos tempos dos funcionários as superfícies comerciais que adquirem os patins serão mais facilmente motivo de conversa entre os seus clientes que ficaram curiosos com os patins podendo atrair novos clientes que optaram por ir ali fazer as suas compras só para presenciar a sua utilização. Outros possíveis clientes serão pessoas que se desloquem regularmente em meio urbano e que não queiram procurar um sítio para estacionar ou esperar pelos horários do transporte público, ou simplesmente porque esta solução lhes agradou. Pessoas “amigas do ambiente” também têm aqui uma oportunidade de adquirir um veículo que não emite gases.

Mercados geográficos

A empresa pretende operar apenas em Portugal continental durante os primeiros meses, a principal razão desta opção é que se pretende manter um serviço de assistência e manutenção dos equipamentos com deslocações ao local onde o equipamento é utilizado. Não é uma questão de falta de confiança no equipamento mas como se trata de um produto recente podem surgir problemas ou anomalias inesperadas. Nesse sentido enquanto a robustez não for posta à prova para que seja devidamente comprovada pelos clientes, não se pretende operar longe do local da sede para reduzir os custos de deslocações. A informação recolhida nos serviços de manutenção do equipamento serão utilizadas em I&D e em caso de necessidade para desenvolver uma versão melhorada dos patins. A versão melhorada dos patins não necessitará de manutenção e assim sendo será comercializada fora do território nacional com encomendas a partir da internet. Nesta altura procurar-se-á também estabelecer contactos com outras superfícies comerciais que possam estar interessadas em colocar o produto nos seus expositores.

Estratégia de marketing-mix

A empresa pretende chegar aos clientes principalmente através da internet. Numa página web própria pretende-se dar a conhecer a empresa e apresentar os patins. Pretende-se dar a conhecer os patins aos clientes particulares através das redes sociais, como é o caso do Facebook e Twitter, e ainda com links de vídeos demonstrativos colocados no Youtube. A aquisição do equipamento online poderá ser através de um dos métodos já referidos e ainda em páginas de classificados como é o caso do OLX e Amazon.

Serão enviados emails a empresas que se considerem potências onde se apresenta o sumariamente o produto e as possíveis vantagens, propondo ainda uma possível demonstração dos patins. A empresa também poderá dirigir-se a agentes influenciadores, quer estes sejam pessoas ou entidades que tenham influencia determinante na decisão de compra. Por exemplo, os empregados de empresas de segurança ou os centros onde essas forças de segurança operam podem ter um impacto muito significativo sobre a empresa de segurança que adquire o produto. Em alguns casos o contacto será efectuado através de cartas enviadas para empresas com propostas específicas onde pode também ser sugerida uma apresentação do produto.

Também se tentará promover o produto em feiras tecnológicas ou outras.

As actividades de marketing devem ser exercidas regularmente, podendo ser efectuadas de modo mais intensivo numa fase inicial.

Após o completo o registo da patente, a empresa procurará ceder licenças de exploração para produção e comercialização mediante o pagamento de royalties. Apesar de este cenário conduzir a uma menor receita, transfere-se o risco de perder capital para empresas interessados no produto e que tenham meios financeiros e experiência internacional no comércio de bens similares.

Estrutura comercial

Numa fase inicial, a estrutura comercial da empresa será composta pelos dois funcionários da empresa que acumulam funções com as outras áreas da empresa.

Síntese de pontos fortes e fracos

Fatores	Situação	Análise			Tendência			Impacte		
		Ponto	Ponto	Sem	↗	=	↘	Forte	+/-	Fraco
		forte	fraco	imp.						
PRODUTO										
Design do produto	Inovador	x				x		x		
Qualidade do produto	Elevada	x				x		x		
Funcionalidade do produto	Meio de transporte	x				x		x		
Durabilidade do produto	> 5 Anos	x								
Qualidade da embalagem na ótica do distribuidor	Custos reduzidos			x		x				x
Qualidade da embalagem na ótica do consumidor	Regular			x		x				x
Design	Regular		x		x				x	
Funcionalidade	1º Transporte		x			x				x
Atratividade	Regular		x			x			x	
Proteção	Boa	x				x			x	
Extensão da gama de produtos	Reduzida			x		x			x	
Diversificação da gama de	Reduzida			x		x			x	

produtos				
PREÇO				
Preço em relação à concorrência	Regular	x	x	x
Aceitação dos preços pelos clientes	Regular	x	x	
Margens praticadas	Boa	x	x	x
Capacidade de reação rápida a nível dos preços	Boa	x	x	x
DISTRIBUIÇÃO				
Canal de distribuição	Transportadora	x	x	x
Peso negocial dos diferentes canais	Regular	x	x	x
Funções técnicas dos distribuidores				
Controlo dos canais de distribuição	Elevado	x	x	x
Imagem dos distribuidores	Elevada	x	x	x
COMUNICAÇÃO				
Notoriedade da empresa	Baixa	x	x	x
Notoriedade dos produtos	Baixa	x	x	x
Imagem da empresa	Regular	x	x	x
Imagem dos	Regular	x	x	x

produtos				
Estratégia criativa de publicidade	Boa	x	x	x
Meios de publicidade	Internet, feiras, apresentações	x	x	x
Alvos de promoção	Empresas		x	x
Alvos de publicidade	Privados e Empresas	x	x	x
Orçamento de publicidade	Normal	x	x	x
Política de relações públicas	Proximidade	x	x	x
VENDAS				
Formas de venda	Internet, Feiras, Apresentações	x	x	x
Número de vendedores	2	x	x	x
Grau de formação dos vendedores	Elevado	x	x	x
Grau de motivação dos vendedores	Elevado	x	x	x
Coordenação da equipa de vendas	Boa	x	x	x
Cobertura geográfica das vendas	Em crescimento	x	x	x

Tabela 12 - Pontos fortes e fracos

7.4.2.2 Tecnologias e operações

Os patins, que são o principal produto da empresa, envolvem bastante trabalho manual.

A empresa irá operar num *layout* orientado ao processo visto que o espaço inicial é reduzido bem com o número de funcionários e nesse sentido é mais conveniente adoptar um *layout* que centralize no mesmo local todas as máquinas necessárias. Este *layout* é conseguido através de duas bancadas em que uma se destina à montagem das partes mecânicas e outra bancada destinada aos processos relacionados com electrónica. Se a empresa crescer até ao ponto que se justifique mudar de instalações será provavelmente adoptado um *layout* orientado ao produto, visto que grande parte das tarefas tem de ser executada de forma sequencial.

No funcionamento normal, a empresa tem uma capacidade produtiva de quatro unidades diárias, ou seja, dois pares de patins por dia. Em caso de necessidade a empresa pode subcontratar o serviço inerente a algumas das etapas e nesse caso será possível aumentar a produção até às oito unidades diárias sem comprometer o controlo de qualidade do produto.

Classificação da tecnologia. Posição tecnológica

A empresa pretende manter-se a par do desenvolvimento de novas tecnologias que possam ser utilizadas em I&D para melhorar os vários produtos desenvolvidos. Os desenvolvimentos tecnológicos que poderão ter um impacto mais positivo no equipamento são ao nível do armazenamento de energia. Existem mais, por exemplo o desenvolvimento de ligas leves e resistentes que permitam reduzir o peso da estrutura ou novos sensores que permitam obter um modelo físico mais completo e assim melhorar o sistema de controlo. A empresa estuda a hipótese de integrar um sistema de monitorização por GPS que permita seguir rotas bem como um sistema de ligação wireless ao PC.

Qualidade

Pretende-se manter sempre elevados níveis de qualidade com equipamentos com uma durabilidade média acima dos cinco anos. Os materiais de construção devem ser robustos e leves de forma a manter boas prestações e elevado nível de satisfação dos

clientes. A qualidade do produto deve ser visto como uma forma de publicidade. Estudos revelam que um cliente insatisfeito fala do produto ao dobro das pessoas que um cliente satisfeito. Nesse sentido é fundamental para a imagem da empresa o manter elevados níveis de satisfação dos clientes através do bom desempenho do produto.

Descrição das instalações

A empresa necessita de um local com um pequeno escritório para documentação e arquivo e uma pequena oficina para a montagem dos patins. As instalações iniciais serão numa garagem que será cedida gratuitamente à empresa até que se justifique a mudança para instalações maiores. A garagem já se encontra equipada com grande parte das ferramentas e máquinas necessárias à montagem dos patins.

Síntese de pontos fortes e fracos

Fatores	Situação	Análise			Tendência			Impacte		
		Ponto forte	Ponto fraco	Sem imp.	↗	=	↘	Forte	+/-	Fraco
Qualidade das instalações	Razoáveis			x	x				x	
Tecnologia utilizada	Moderada		x						x	
Manutenção de equipamentos	Regular			x	x					x
Estado de uso dos equipamentos	Seminovos			x					x	
Cumprimento dos prazos de fabrico	Razoável	x			x			x		
Controle de qualidade	Alto	x			x			x		
Desperdícios de fabrico	Reduzido	x			x				x	
Tratamento dos desperdícios	Separação de resíduos	x			x					x

Tabela 13 - Pontos fortes e fracos

7.4.2.3. Recursos humanos

A empresa iniciará actividade com dois funcionários. Os dois funcionários da empresa têm formação na área da engenharia electrotécnica e conhecem a tecnologia implementada nos patins ao pormenor visto que estão ligados aos patins desde a sua fase inicial. Ambos serão encarregues do marketing, montagem dos patins e assistência, bem como da parte administrativa. Os trabalhos de metalomecânica com recurso a torno mecânico são todos subcontratados a empresas locais. Se a empresa necessitar também

pode pedir auxílio em serviços de montagem a colaboradores que de uma forma ou outra já estiveram envolvidos no projecto. Pretende-se promover um ambiente de motivação com o reconhecimento dos melhores desempenhos e aprendizagem permanente, permitindo que estes participem regularmente em I&D e assim obtenham um bom desempenho nas tarefas inerentes à sua função. Dever-se-á incentivar e promover constantemente actualização e formação, contribuindo para a valorização profissional.

Síntese de pontos fortes e fracos

Factores	Situação	Análise			Tendência			Impacte	
		Ponto forte	Ponto fraco	Sem imp.	↗	=	↘	Forte	+/- Fraco
Definição das funções de cada posto de trabalho	Acumulação de funções		x		x			x	
Número de trabalhadores	2			x	x				x
Grau de formação dos trabalhadores	Elevado	x				x		x	
Investimentos em formação	Reduzidos			x	x				x
Recursos humanos orientados para o cliente	Razoáveis			x	x				x
Política de incentivos	Boa	x				x		x	

Tabela 14 - Pontos fortes e fracos

7.4.2.4. Análise ambiental e energética

A empresa tem uma forte componente ambiental ao promover uma forma de transporte sem emissão de gases no meio em que circula. Não se pode dizer que seja uma forma de transporte totalmente ecológica sem garantir que a energia que carrega as baterias também provém de fontes renováveis. Como muitos utilizadores irão utilizar a rede eléctrica para carregar as baterias haverá sempre algumas emissões relacionadas com este meio de transporte. Apesar de mesmo assim haver emissões de gases, as centrais que produzem a energia eléctrica a partir de fontes não renováveis são regidas por leis que obrigam à utilização de filtros muito mais eficientes que os utilizados nos meios de transporte de combustão interna. Além disso, essas centrais não se localizam nos centros mais densamente povoados e possuem um rendimento elevado quando comparados com os últimos..

Este meio de transporte consegue uma utilização mais inteligente da energia e utiliza menos energia que a maior parte dos veículos de transporte (porque apenas tem de transportar a massa do condutor e não de um veículo pesado que transporta o condutor). A sua utilização permite reduzir a emissão de gases e permite poupanças significativas para os clientes.

7.4.3. Organização

A empresa iniciará actividade com apenas dois funcionários que partilham a responsabilidade de todas as tarefas inerentes ao bom funcionamento.

7.4.4. Síntese das condicionantes internas

A próxima tabela apresenta um resumo dos factores críticos de sucesso internos

Factores Internos			
Forças		Fraquezas	
1	Domínio da tecnologia	1	Baixa capacidade financeira
2	Originalidade do produto	2	Reduzido número de trabalhadores
3	Elevados níveis de motivação	3	Baixa capacidade produtiva
4	Bom serviço de assistência	4	Inexperiência da equipa de gestão

Tabela 15 - Quadro de factores internos

7.5. Análise da utilização do potencial da empresa

7.5.1. Determinação da posição concorrencial

A determinação da posição concorrencial da empresa é executada a partir de um estudo dos factores internos e externos. Esta análise é feita segundo o princípio adoptado por Fred David na referência [7], através das matrizes de avaliação dos factores internos e factores externos.

Factores Críticos de Sucesso Externos		Importância	Capacidade de resposta	Pontuação ponderada
Oportunidades				
1	Sector emergente	20	3	60
2	Globalização das economias	15	3	45
3	Redução da poluição	15	3	45
4	Baixa concorrência no mercado nacional	15	3	45
Ameaças				
1	Possibilidade de roubo de ideia	10	2	20
2	Actual crise económica	8	2	16
3	Risco de baixa aceitação do produto	12	2	24
4	Aumento da regulamentação	5	3	15
Subtotal		100		270

Tabela 16 - Matriz de avaliação dos factores externos (MAFE)

Factores Críticos de Sucesso		Importância	Capacidade de resposta	Pontuação ponderada
Forças				
1	Domínio da tecnologia	17	3	51
2	Originalidade do produto	18	3	54
3	Elevados níveis de motivação	15	3	45
4	Bom serviço de assistência	16	3	48
Fraquezas				
1	Baixa capacidade financeira	10	2	20
2	Reduzido número de trabalhadores	9	2	18
3	Baixa capacidade produtiva	5	2	10
4	Inexperiência da equipa de gestão	10	2	20
Subtotal		100		266

Tabela 17 - Matriz de avaliação dos factores internos (MAFI)

O indicador de importância nas matrizes encontra-se normalizado, os valores exprimem a importância relativa a cada factor e a soma total dos valores individuais em cada matriz deve ser 100. O valor da importância é atribuído numa escala de 1 a 20 onde se consideram as seguintes classificações:

20 – Muito importante

15 – Importante

10 – Relativamente importante

5 – Pouco importante

Os indicadores de capacidade de resposta são atribuídos segundo a seguinte pontuação:

4 – Claramente superior à média das empresas do sector

3 – Superior à média das empresas do sector

2 – Não se diferencia da média do sector

1 – Inferior à média do sector

A medida da capacidade da empresa lidar com os factores externos assume valores numa escala que vai de 100 a 400 pontos, onde:

[100;175] – Posição de fraca capacidade

[175;250] – Posição de média capacidade

[250;325] – Posição de boa capacidade

[325;400] – Posição de muito boa capacidade

Assim, com uma classificação de 270 nos factores externos e de 266 nos internos, assume-se que a empresa se encontra numa posição favorável.

7.5.2. A condição estratégica: síntese dinâmica das forças e fraquezas

O quadro da condição estratégica que se apresenta de seguida fornece informação sobre o tipo de desenvolvimento a seguir pela empresa face à sua posição no mercado.

Condição Estratégica				
Maturidade do sector Posição concorrencial	Embrionário	Em crescimento	Maduro	Declínio
Forte				
Favorável	O			
Sustentável				
Fraca				
	Desenvolvimento natural		Desenvolvimento selectivo	
	Viragem		Abandono	

Figura 42 - Quadro da condição estratégica

Considera-se que o sector de maturidade dos veículos eléctricos de transporte individual de pessoas se encontra numa fase embrionária, o que poderá ser questionável visto que já existem veículos eléctricos há vários anos. A justificação de se considerar um sector emergente é porque se considera que o ramo dos veículos eléctricos de transporte individual (onde a tecnologia que permite obter resultados minimamente satisfatórios ao nível da autonomia) é relativamente recente. A densidade de energia por massa dos combustíveis fósseis é perto de cem vezes superior à das actuais baterias eléctricas, aproximadamente 47MJ/Kg para a gasolina contra 0,5MJ/Kg no caso das baterias de lítio. Consegue-se uma maior autonomia utilizando motores de combustão interna apesar dos seus baixos (entre os 20% e os 35%) quando comparado com os motores eléctricos (normalmente superior a 90%).

7.6. Opções estratégicas

7.6.1. Objectivos estratégicos

A empresa destaca os seguintes objectivos estratégicos:

- Preservação do meio ambiente ao promover a utilização de meios de transporte sem emissão de gases.
- Aperfeiçoamento da motivação e qualidade profissional dos colaboradores.
- Estimular o crescimento das vendas através do marketing proactivo.
- Ser reconhecido no ramo em que opera pela excelência do serviço prestado.
- Aperfeiçoamento dos mecanismos de gestão.

7.6.2. Estratégias naturais e opções estratégicas

As opções estratégicas são um conjunto de regras que orientam o processo de desenvolvimento da empresa. Assim, é fundamental alinhar todos os colaboradores e funcionários da empresa com a estratégia, segundo um processo evolutivo contínuo, tendo como meta a visão da empresa.

Na área das tecnologias emergentes, pretende-se sistematizar a adopção de procedimentos de recolha de informação sobre as tecnologias que possam causar impacto

sobre os produtos ou a empresa, incentivando uma cultura de inovação e rentabilizando os recursos disponíveis.

O marketing da empresa deve ter sempre em conta o cliente-alvo, utilizando argumentos sólidos e convincentes ajustados a cada segmento de mercado.

A qualidade do produto e das assistências prestadas devem em qualquer caso procurar a máxima satisfação do cliente, despertando-o para todas as possibilidades do produto.

7.6.3. Os processos de controlo e reavaliação estratégica

Cabe aos sócios-gerentes comparar os resultados do que foi pré-estabelecido e tomar as atitudes necessárias à possível necessidade de correcção das disparidades encontradas.

7.7. Estudo da viabilidade económico-financeira

O estudo da viabilidade económico-financeira é desenvolvido em folha de cálculo em Excel sendo possível editar alguns campos do modelo e colocar outros à prova.

7.7.1. Investimento inicial do projecto

O espaço cedido para à empresa, uma garagem com aproximadamente 35m², já se encontra minimamente equipado, no entanto, será necessário a aquisição de alguns equipamentos. A empresa opta por não adquirir um veículo próprio.

Quantidade	Descrição	Preço unitário	Preço Total
Escritório			
1	Computador	550,00 €	550,00 €
1	Impressora multifunção	250,00 €	250,00 €
1	Secretária	150,00 €	150,00 €
3	Cadeiras	80,00 €	240,00 €
1	Sofá	300,00 €	300,00 €
1	Máquina de café	250,00 €	250,00 €
1	TV	400,00 €	400,00 €
1	Decoração diversa	100,00 €	100,00 €
1	Aparelhagem	200,00 €	200,00 €
SUBTOTAL			2 440,00 €
Oficina			
3	Bancadas de trabalho	120,00 €	360,00 €
1	Osciloscópio	3 000,00 €	3 000,00 €
1	Multímetro de bancada	250,00 €	250,00 €
1	Multímetro portátil	250,00 €	250,00 €
2	Fontes de corrente	150,00 €	300,00 €
5	Armários	200,00 €	1 000,00 €
3	Estantes	140,00 €	420,00 €
1	Impressora PCB	450,00 €	450,00 €
1	Kit ferramentas bancada	2 900,00 €	2 900,00 €
5	Bancos de bancada	30,00 €	150,00 €
2	Malas ferramenta completas	1 500,00 €	3 000,00 €
SUBTOTAL			12 080,00 €
Segurança			
1	Sistema de alarme com videovigilância	2 500,00 €	2 500,00 €
TOTAL			17 020,00 €

Tabela 18 - Investimento inicial

7.7.2. Fornecimento e serviços externos

No cálculo do fornecimento e serviços externos tem-se em conta que o ano tem doze meses e que a taxa de inflação anual é de 2%.

	Valor Mensal em 2014	2014	2015	2016	2017	2018
Serviços especializados						
Publicidade e propaganda	100,00 €	1 200,00 €	1 224,00 €	1 248,48 €	1 273,45 €	1 298,92 €
Vigilância e Segurança	50,00 €	600,00 €	612,00 €	624,24 €	636,72 €	649,46 €
Materiais						
Consumíveis oficina	30,00 €	360,00 €	367,20 €	374,54 €	382,03 €	389,68 €
Consumíveis escritório	20,00 €	240,00 €	244,80 €	249,70 €	254,69 €	259,78 €
Limpeza e Higiene	15,00 €	180,00 €	183,60 €	187,27 €	191,02 €	194,84 €
Energia e Fluidos						
Água	30,00 €	360,00 €	367,20 €	374,54 €	382,03 €	389,68 €
Electricidade	80,00 €	960,00 €	979,20 €	998,78 €	1 018,76 €	1 039,13 €
Serviços diversos						
Renda instalações	0,00 €	0,00 €	0,00 €	0,00 €	0,00 €	0,00 €
Seguro instalações	20,00 €	240,00 €	244,80 €	249,70 €	254,69 €	259,78 €
Alojamento Website	30,00 €	360,00 €	367,20 €	374,54 €	382,03 €	389,68 €
Comunicações						

Telemóveis	70,00 €	840,00 €	856,80 €	873,94 €	891,41 €	909,24 €
Telefone	30,00 €	360,00 €	367,20 €	374,54 €	382,03 €	389,68 €
Internet	30,00 €	360,00 €	367,20 €	374,54 €	382,03 €	389,68 €
TOTAL	505,00 €	6 060,00 €	6 181,20 €	6 304,82 €	6 430,92 €	6 559,54 €

Tabela 19 - Fornecimento e serviços externos

7.7.3. Vendas e custo das mercadorias vendidas

Previsão de unidades vendidas

Na previsão de unidades vendidas tem-se em conta que a empresa irá vender mais nos meses de calor visto que não será provável que os clientes optem por utilizar o equipamento à chuva. Considera-se que o mês de Dezembro será um bom mês de vendas devido ao Natal.

	Jan	Fev	Mar	Abr	Mai	Jun	Jul	Ago	Set	Out	Nov	Dez	TOTAL
2014	0	0	1	1	2	3	4	5	7	6	2	9	40
2015	3	6	5	7	17	22	22	30	15	6	5	19	157
2016	1	2	1	9	16	17	17	23	30	30	12	23	181
2017	2	4	3	12	13	26	32	30	20	10	5	40	197
2018	5	3	6	15	23	34	35	30	23	40	4	50	268

Tabela 20 - Estimativa de unidades vendidas

Receitas das vendas e custo das mercadorias vendidas

Utilizou-se o simulador de preços para encontrar o preço de cinco hipóteses de montagem e encontrar um preço médio das unidades vendidas e custos das respectivas componentes. Considera-se que os patins deverão ser vendidos 60% mais caros que o custo das componentes e que os patins têm as percentagens no total das unidades apresentadas na Tabela 21.

		Preço de Venda	Custo das mercadorias vendidas	Estimativa percentual das unidades vendidas (%)
1	Motor 1000W, Bat AGM 15Ah, Carregador 4A	1 099,39 €	687,12 €	20,00%
2	Motor 700W, Bat AGM 12Ah, Carregador 2A	998,30 €	623,94 €	10,00%
3	Motor 1000W, Bat lítio 20Ah, Carregador 4A	1 909,26 €	1 193,29 €	7,00%
4	Motor 700W, Bat lítio 15Ah, Carregador 4A	1 684,66 €	1 052,91 €	15,00%
5	Motor 700W, Bat AGM 15Ah, Carregador 4A	1 009,47 €	630,92 €	48,00%

Tabela 21 - Algumas hipóteses de venda

Uma vez que é difícil prever quais os modelos a ser vendidos e em que altura, considera-se a média ponderada para a venda, bem como para o custo das mercadorias vendidas.

TOTAL	
2014	47 624,09 €
2015	186 924,55 €
2016	215 499,01 €
2017	234 548,64 €
2018	319 081,40 €

Tabela 22 - Previsão das receitas de unidades vendidas

TOTAL	
2014	29 765,06 €
2015	116 827,84 €
2016	134 686,88 €
2017	146 592,90 €
2018	199 425,88 €

Tabela 23 - Previsão de custos das mercadorias vendidas

7.7.4. Amortizações

As amortizações são calculadas pelo método das quotas constantes e os valores apresentam-se na próxima tabela, são utilizados os valores máximos estipulados conforme previsto no Decreto Regulamentar n.º25/2009 de 14 de Setembro.

Descrição	Preço Total	Taxa anual (%)	Valor anual	2019 - Valor residual
Escritório				
Computador	550,00 €	33,33%	183,32 €	0,00 €
Impressora multifunção	250,00 €	20,00%	50,00 €	0,00 €
Secretária	150,00 €	12,50%	18,75 €	56,25 €
Cadeiras	240,00 €	12,50%	30,00 €	90,00 €
Sofá	300,00 €	12,50%	37,50 €	112,50 €
Máquina de café	250,00 €	20,00%	50,00 €	0,00 €
TV	400,00 €	33,33%	133,32 €	0,00 €
Decoração diversa	100,00 €	12,50%	12,50 €	37,50 €
Aparelhagem	200,00 €	20,00%	40,00 €	0,00 €
Oficina				
Bancadas de trabalho	360,00 €	12,50%	45,00 €	135,00 €
Osciloscópio	3 000,00 €	14,28%	428,40 €	858,00 €
Multímetro de bancada	250,00 €	14,28%	35,70 €	71,50 €
Multímetro portátil	250,00 €	14,28%	35,70 €	71,50 €
Fontes de corrente	300,00 €	14,28%	42,84 €	85,80 €
Armários	1 000,00 €	12,50%	125,00 €	375,00 €
Estantes	420,00 €	12,50%	52,50 €	157,50 €
Impressora PCB	450,00 €	14,28%	64,26 €	128,70 €
Kit ferramentas bancada	2 900,00 €	14,28%	414,12 €	829,40 €
Bancos de bancada	150,00 €	12,50%	18,75 €	56,25 €
Malas ferramenta completa	3 000,00 €	20,00%	600,00 €	0,00 €
Segurança				
Sistema de alarme com videovigilância	2 500,00 €	20,00%	500,00 €	0,00 €

Tabela 24 - Amortizações

7.7.5. Gastos com o pessoal

A próxima tabela apresenta os pressupostos utilizados para o cálculo das despesas com o pessoal.

Segurança Social	23,50%
Subsídio de Alimentação	6,00 €
Seguro	2,00%
Meses de salário	14
Taxa de Inflação	2,00%

Tabela 25 - Pressupostos dos gastos com o pessoal

Como a empresa detêm dois funcionários, a despesa mensal detalhada é a que se apresenta no próximo quadro.

	Remuneração base mensal	Segurança Social	Subsídio Alimentação	Seguro
Órgãos Sociais				
Sócio-gerente	1 200,00 €	282,00 €	132,00 €	24,00 €
Sócio-gerente	1 200,00 €	282,00 €	132,00 €	24,00 €
TOTAL	2 400,00 €	564,00 €	264,00 €	48,00 €

Tabela 26 - Gastos com o pessoal

Com base na tabela anterior e na taxa de inflação, a remuneração bruta mensal encontra-se representada na Tabela 27.

	2014	2015	2016	2017	2018
Órgãos Sociais					
Sócio-gerente	1 638,00 €	1 670,76 €	1 704,18 €	1 738,26 €	1 773,02 €
Sócio-gerente	1 638,00 €	1 670,76 €	1 704,18 €	1 738,26 €	1 773,02 €
TOTAL	3 276,00 €	3 341,52 €	3 408,35 €	3 476,52 €	3 546,05 €

Tabela 27 - Remuneração bruta mensal

Considerando 14 meses de salário, a remuneração anual é a seguinte

	2014	2015	2016	2017	2018
Órgãos Sociais					
Sócio-gerente	22 932,00 €	23 390,64 €	23 858,45 €	24 335,62 €	24 822,33 €
Sócio-gerente	22 932,00 €	23 390,64 €	23 858,45 €	24 335,62 €	24 822,33 €
TOTAL	45 864,00 €	46 781,28 €	47 716,91 €	48 671,24 €	49 644,67 €

Tabela 28 - Remuneração bruta anual

7.7.6. Necessidades de fundo de maneoio

As necessidades de fundo de maneoio é a parte dos capitais da empresa que servem para financiar o ciclo de exploração. Consideram-se os seguintes pressupostos:

Prazo médio de recebimento (PMR)	30	dias
Prazo médio de pagamento (PMP)	0	dias
Prazo médio de estocagem (PME)	30	dias
Ano Civil	365	dias
Ano Civil	12	meses

Tabela 29 - Pressupostos das necessidades de fundo de maneoio

Assim as necessidades de fundo de maneoio são as seguintes

Rubricas	2014	2015	2016	2017	2018
Saldo Médio de Clientes	3 914,31 €	15 363,66 €	17 712,25 €	19 277,97 €	26 225,87 €
Saldo Médio de Existências	2 446,44 €	9 602,29 €	11 070,15 €	12 048,73 €	16 391,17 €
Compras	32 211,50 €	126 430,13 €	145 757,03 €	158 641,63 €	215 817,04 €
Saldo Médio de Fornecedores	0,00 €	0,00 €	0,00 €	0,00 €	0,00 €
Necessidades de Fundo Maneo	6 360,75 €	24 965,95 €	28 782,40 €	31 326,70 €	42 617,04 €
Variação das NFM	6 360,75 €	18 605,20 €	3 816,45 €	2 544,30 €	11 290,33 €
Crédito Concedido aos Clientes	3 914,31 €	15 363,66 €	17 712,25 €	19 277,97 €	26 225,87 €
Mensal	326,19 €	1 280,31 €	1 476,02 €	1 606,50 €	2 185,49 €
Variação do Crédito	3 914,31 €	11 449,35 €	2 348,59 €	1 565,72 €	6 947,90 €
Credito Obtido dos Fornecedores	0,00 €	0,00 €	0,00 €	0,00 €	0,00 €
Mensal	0,00 €	0,00 €	0,00 €	0,00 €	0,00 €
Variação do Crédito	0,00 €	0,00 €	0,00 €	0,00 €	0,00 €
Credito Obtido dos Fornecedores	2 446,44 €	9 602,29 €	11 070,15 €	12 048,73 €	16 391,17 €
Mensal	203,87 €	800,19 €	922,51 €	1 004,06 €	1 365,93 €
Variação do Crédito	2 446,44 €	7 155,85 €	1 467,87 €	978,58 €	4 342,44 €

Tabela 30 - Necessidades de fundo de maneo

7.7.7. Mapa de Tesouraria

O mapa de tesouraria contempla todos os fluxos financeiros provisionais de exploração e extra-exploração.

RUBRICAS	2014	2015	2016	2017	2018
Recebimentos de Exploração					
Vendas e Prestação serviços	47 624,09 €	186 924,55 €	215 499,01 €	234 548,64 €	319 081,40 €
Variação do Crédito Concedido	3 914,31 €	11 449,35 €	2 348,59 €	1 565,72 €	6 947,90 €
Total Recebimentos	43 709,78 €	175 475,20 €	213 150,42 €	232 982,92 €	312 133,50 €
Pagamentos de Exploração					
Compras	29 765,06 €	116 827,84 €	134 686,88 €	146 592,90 €	199 425,88 €
Variação das compras	2 446,44 €	7 155,85 €	1 467,87 €	978,58 €	4 342,44 €
Fornecimentos e Serviços Externos	6 060,00 €	6 181,20 €	6 304,82 €	6 430,92 €	6 559,54 €
Gastos com o Pessoal	45 864,00 €	46 781,28 €	47 716,91 €	48 671,24 €	49 644,67 €
Gastos com I&D	2 000,00 €	3 000,00 €	2 000,00 €	2 000,00 €	2 000,00 €
Gastos com assistências e manutenção	1 690,00 €	14 320,00 €	18 340,00 €	18 840,00 €	0,00 €
Outros gastos e perdas	0,00 €	0,00 €	0,00 €	0,00 €	0,00 €
Variação do Crédito Obtido	0,00 €	0,00 €	0,00 €	0,00 €	0,00 €
Total Pagamentos	86 135,50 €	179 946,17 €	192 176,47 €	204 673,64 €	261 972,52 €
Saldo Exploração	-42 425,72 €	-4 470,97 €	20 973,95 €	28 309,28 €	50 160,98 €
Recebimentos Extra-Exploração					
Capital Social	50 000,00 €	0,00 €	0,00 €	0,00 €	0,00 €
Outros Instrumentos de Capital Próprio	0,00 €	0,00 €	0,00 €	0,00 €	0,00 €

Subsidio não reembolsável	0,00 €	0,00 €	0,00 €	0,00 €	0,00 €
Suprimentos	0,00 €	0,00 €	0,00 €	0,00 €	0,00 €
Leasing	0,00 €	0,00 €	0,00 €	0,00 €	0,00 €
Subsidio reembolsável	0,00 €	0,00 €	0,00 €	0,00 €	0,00 €
Empréstimo Bancário	30 000,00 €	0,00 €	0,00 €	0,00 €	0,00 €
Crédito de Fornecedores	0,00 €	0,00 €	0,00 €	0,00 €	0,00 €
Total Recebimentos	80 000,00 €	0,00 €	0,00 €	0,00 €	0,00 €

Tabela 31 - Mapa de tesouraria (parte 1)

RUBRICAS	2014	2015	2016	2017	2018
Pagamentos Extra-Exploração					
Investimento Capital Fixo	17 020,00 €	0,00 €	0,00 €	0,00 €	0,00 €
Juros e Gastos Similares Suportados	0,00 €	0,00 €	0,00 €	0,00 €	0,00 €
Juros Suportados	0,00 €	300,00 €	272,50 €	371,88 €	266,88 €
Outros	0,00 €	0,00 €	0,00 €	0,00 €	0,00 €
Empréstimos Bancários	0,00 €	0,00 €	0,00 €	0,00 €	0,00 €
Curto Prazo	0,00 €	0,00 €	0,00 €	0,00 €	0,00 €
Médio e Longo Prazo	0,00 €	0,00 €	6 000,00 €	6 000,00 €	6 000,00 €
Suprimentos	0,00 €	0,00 €	0,00 €	0,00 €	0,00 €
Leasing	0,00 €	0,00 €	0,00 €	0,00 €	0,00 €
Imposto sobre o Rendimento do Exercício	0,00 €	2 729,14 €	5 400,06 €	6 970,17 €	14 645,86 €
Distribuição de Dividendos	0,00 €	0,00 €	0,00 €	0,00 €	0,00 €
Total Pagamentos	17 020,00 €	3 029,14 €	11 672,56 €	13 342,05 €	20 912,73 €
Saldo Extra-Exploração	62 980,00 €	-3 029,14 €	-11 672,56 €	-13 342,05 €	-20 912,73 €
Saldo Anual	20 554,28 €	-7 500,11 €	9 301,39 €	14 967,23 €	29 248,25 €
Disponível Inicial	0,00 €	20 554,28 €	13 054,17 €	22 355,55 €	37 322,78 €
Disponível Final	20 554,28 €	13 054,17 €	22 355,55 €	37 322,78 €	66 571,04 €

Tabela 32 - Mapa de tesouraria (parte 2)

7.7.8. Balanço Previsional

A próxima tabela apresenta o balanço previsional da actividade.

RUBRICAS	2014	2015	2016	2017	2018
Activo Não Corrente					
Activos Fixos Tangíveis	14 102,35 €	11 184,69 €	8 267,04 €	5 666,02 €	3 065,00 €
Activos Intangíveis	0,00 €	0,00 €	0,00 €	0,00 €	0,00 €
Activo Corrente					
Inventários	2 446,44 €	9 602,29 €	11 070,15 €	12 048,73 €	16 391,17 €
Activos Biológicos					
Clientes	3 914,31 €	15 363,66 €	17 712,25 €	19 277,97 €	26 225,87 €
Outras Contas a Receber					
Diferimentos					
Caixa e Depósitos Bancários	20 554,28 €	13 054,17 €	22 355,55 €	37 322,78 €	66 571,04 €
Subtotal Activo Corrente	26 915,03 €	38 020,12 €	51 137,95 €	68 649,49 €	109 188,07 €
Total do Activo	41 017,38 €	49 204,81 €	59 404,99 €	74 315,50 €	112 253,07 €
Capital Próprio e Passivo					
Capital/Ações Próprias	50 000,00 €	50 000,00 €	50 000,00 €	50 000,00 €	50 000,00 €
Outros Instrumentos de Capital Próprio	0,00 €	0,00 €	0,00 €	0,00 €	0,00 €
Reservas/Resultados Transitados		-38 982,62 €	-30 795,19 €	-14 595,01 €	6 315,50 €
Resultado Líquido do Exercício	-38 982,62 €	8 187,43 €	16 200,18 €	20 910,51 €	43 937,57 €
Total do Capital Próprio	11 017,38 €	19 204,81 €	35 404,99 €	56 315,50 €	100 253,07 €
Passivo Não Corrente					
Financiamentos Obtidos	30 000,00 €	30 000,00 €	24 000,00 €	18 000,00 €	12 000,00 €
Outras Contas a Pagar	0,00 €	0,00 €	0,00 €	0,00 €	0,00 €
Passivo Corrente					
Financiamentos	0,00 €	0,00 €	0,00 €	0,00 €	0,00 €

Obtidos					
Fornecedores	0,00 €	0,00 €	0,00 €	0,00 €	0,00 €
Outras Contas a Pagar	0,00 €	0,00 €	0,00 €	0,00 €	0,00 €
Diferimentos	0,00 €	0,00 €	0,00 €	0,00 €	0,00 €
Subtotal Passivo	0,00 €	0,00 €	0,00 €	0,00 €	0,00 €
Corrente					
Total do Passivo	30 000,00 €	30 000,00 €	24 000,00 €	18 000,00 €	12 000,00 €
Total do Capital Próprio e Passivo	41 017,38 €	49 204,81 €	59 404,99 €	74 315,50 €	112 253,07 €

Tabela 33 - Balanço previsional

7.7.9. Cash flow, VAL e TIR

O saldo das entradas e saídas de capital da empresa é dado pelo *cash flow* apresentado na próxima tabela. Considera-se uma taxa de custo de capital de 6% para o cálculo do *cash flow* actualizado.

RUBRICAS	2014	2015	2016	2017	2018
Resultado Operacional	-38 982,62 €	11 216,57 €	21 872,74 €	28 252,56 €	58 850,30 €
Depreciações e Amortizações	2 917,66 €	2 917,66 €	2 917,66 €	2 601,02 €	2 601,02 €
Impostos sobre o rendimento	0,00 €	2 729,14 €	5 400,06 €	6 970,17 €	14 645,86 €
Exploração	-36 064,97 €	16 863,37 €	30 190,46 €	37 823,75 €	76 097,17 €
Investimento	17 020,00 €	0,00 €	0,00 €	0,00 €	0,00 €
Valor Residual	0,00 €	0,00 €	0,00 €	0,00 €	3 064,90 €
Cash Flow Anual	-53 084,97 €	16 863,37 €	30 190,46 €	37 823,75 €	79 162,07 €
Cash Flow Actualizado	-53 084,97 €	15 908,84 €	26 869,40 €	31 757,55 €	62 703,78 €
Cash Flow Acumulado	-53 084,97 €	-37 176,13 €	-10 306,73 €	21 450,82 €	84 154,60 €

Tabela 34 - Cash Flow

O gráfico do fluxo de caixa (*cash flow*) actualizado da exploração nos primeiros cinco anos apresenta-se na próxima figura.

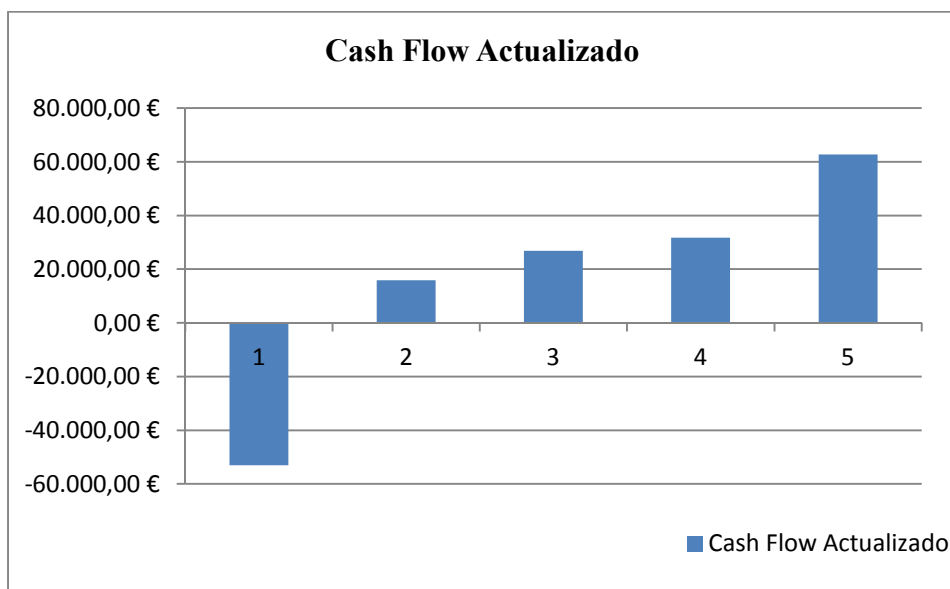


Figura 43 - Cash flow actualizado

O cash flow acumulado apresenta-se na próxima figura.

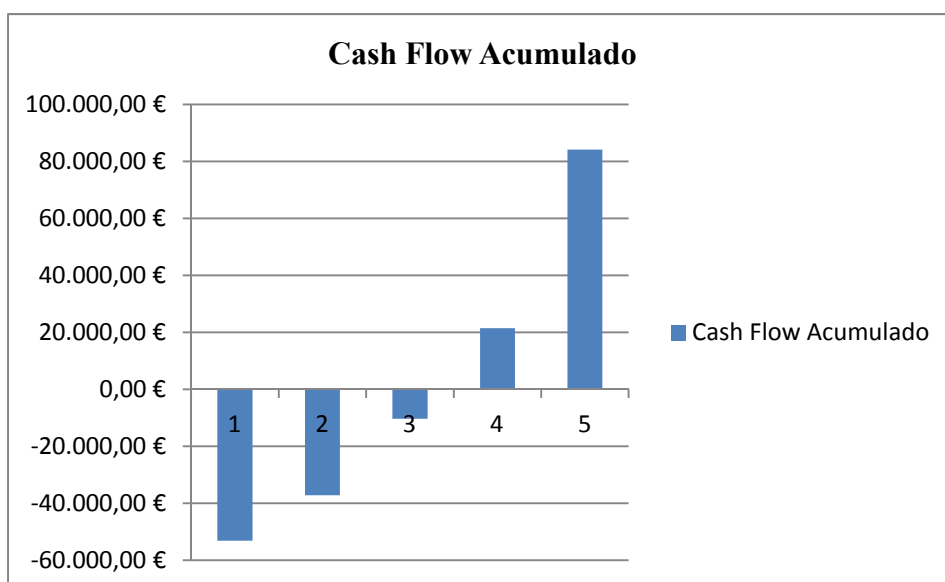


Figura 44 - Cash flow acumulado

O tempo de recuperação do investimento é perto de quatro anos. Outros indicadores do investimento são o VAL e a TIR. A próxima tabela mostra o valor de algumas simulações do valor actual líquido para diferentes taxas referido ao primeiro ano e a taxa de interna de rendibilidade da actividade. Os cálculos são feitos em Excel.

VAL a 3%	93 876,90 €
VAL a 5%	83 961,36 €
VAL a 10%	63 347,69 €
Taxa Interna de Rendibilidade (TIR)	48%

Tabela 35 - Indicadores VAL e TIR

Referências

- [1] Alonso, M.; Finn, E.J (1999) *Física*. Addison Wesley Longman. Madrid
- [2] Aström, K.J.; Wittenmark, B. (1997) *Computer Controlled Systems – teory and design*. 3ª Ed, Prentice Hall
- [3] Coelho, P. (2007). *Manual de Controlo*. Departamento de Engenharia Electrotécnica - ESTT - IPT. Tomar
- [4] Ogata, K. (2003) *Engenharia de Controle Moderno*. 4ª Ed, Pearson Education. São Paulo
- [5] Vu, H.V.; Esfandiari, R.S. (1988) *Dynamic Systems – Modeling and analyses*. McGraw Hill
- [6] Pereira, L; Santos, G. (2012) *Desenvolvimento de protótipo de Veículo Eléctrico*. ESTT – IPT. Tomar
- [7] David, F. (2011) *Strategic Management – concepts and cases*. 13ª Ed, Pearson Education. New Jersey
- [8] United Nations (2013) - *World Economic Situation and Prospects 2013*
- [9] Ministério das Finanças (2013) – *Orçamento do Estado para 2014* – Relatório
- [10] Microchip (2003) – *PIC18FXX8 Data Sheet*
- [11] Microsoft Developer Network - <http://msdn.microsoft.com/en-US/vstudio> - *Application Development in Visual Studio*
- [12] Monster Scooter Parts - www.monsterscooterparts.com – Preços de componentes

Lista de Apêndices

- Algoritmo da aplicação de interface com o usuário – Principal.vb
- Algoritmo de programação do microcontrolador – pic.c

Lista de Anexos

- Controlador patins – Projecto do microcontrolador PIC18F458.
- Imagens CAD – Ficheiro de AutoCAD com um conjunto de imagens utilizadas no relatório.
- Matlab – Conjunto de ficheiros em Matlab e simulink que incluem o modelo, o controlador e as constantes de configuração do modelo.
- PCB limite corrente – Projecto da placa para controlar a corrente nos motores.
- Projecto VisualStudio – Projecto da interface de configuração dos controladores dos patins.
- Tabelas do Plano Económico.
- 2008FRC_Van_Door_Motor_Spec – Ficheiro com dados do Motor.
- Strategic Management Concepts and Cases-13th Edition.pdf.

Apêndices

Algoritmo da aplicação de interface com o usuário - Principal.vb

```
Imports System
Imports System.IO.Ports
Imports System.Text
Imports System.IO

Public Class Principal
    Private Sub Button_IniciarParar_Click(sender As Object, e As EventArgs) Handles
        Button_IniciarParar.Click
            System.Windows.Forms.Control.CheckForIllegalCrossThreadCalls = False
            Dim ports As String() = SerialPort.GetPortNames()
            Dim port As String

            Try
                If SerialPort1.IsOpen = False Then
                    Try
                        SerialPort1.PortName = ListBox1.SelectedItem
                    Catch ex As Exception
                        'Nada
                    End Try
                    ListBox1.Items.Clear()
                    For Each port In ports
                        ListBox1.Items.Add(port)
                    Next port
                    If ListBox1.Items.Contains(SerialPort1.PortName) = True Then
                        SerialPort1.Open()
                        Button_IniciarParar.Text = "Parar"
                    End If

                Else
                    SerialPort1.Close()
                    Button_IniciarParar.Text = "Iniciar"
                End If
            Catch ex As Exception

            End Try
        End Sub

    Public Sub SerialPort1_DataReceived(sender As Object, e As IO.Ports.SerialDataReceivedEventArgs)
        Handles SerialPort1.DataReceived

            Dim recebido As String = SerialPort1.ReadExisting
            If Len(recebido) > 26 Then

                ' Comunicação USART
                If recebido(0) = "A" And recebido(1) = "B" And recebido(25) = "A" And recebido(26) = "B" Then
                    Label_string_recebida.Text = recebido

                ' Sensores de força
                    Label_ADC_SFE.Text = (32 * (Asc(recebido(2)) - 33)) + (Asc(recebido(3)) - 33)
                End If
            End If
        End Sub
    End Class
```

```

Label_tensao_SFE.Text = Int((500 / 1024) * ((32 * (Asc(recebido(2)) - 33)) + (Asc(recebido(3)) - 33))) / 100
Label_forca_SFE.Text = MaskedTextBox_ganho_ADC_SFE.Text * (Int((32 * (Asc(recebido(2)) - 33)) + (Asc(recebido(3)) - 33) - Int(MaskedTextBox_offset_ADC_SFE.Text)))
Label_ADC_STE.Text = (32 * (Asc(recebido(4)) - 33)) + (Asc(recebido(5)) - 33)
Label_tensao_STE.Text = Int((500 / 1024) * ((32 * (Asc(recebido(4)) - 33)) + (Asc(recebido(5)) - 33))) / 100
Label_forca_STE.Text = MaskedTextBox_ganho_ADC_STE.Text * (Int((32 * (Asc(recebido(4)) - 33)) + (Asc(recebido(5)) - 33) - Int(MaskedTextBox_offset_ADC_STE.Text)))
Label_ADC_SFD.Text = (32 * (Asc(recebido(6)) - 33)) + (Asc(recebido(7)) - 33)
Label_tensao_SFD.Text = Int((500 / 1024) * ((32 * (Asc(recebido(6)) - 33)) + (Asc(recebido(7)) - 33))) / 100
Label_forca_SFD.Text = MaskedTextBox_ganho_ADC_SFD.Text * (Int((32 * (Asc(recebido(6)) - 33)) + (Asc(recebido(7)) - 33) - Int(MaskedTextBox_offset_ADC_SFD.Text)))
Label_ADC_STD.Text = (32 * (Asc(recebido(8)) - 33)) + (Asc(recebido(9)) - 33)
Label_tensao_STD.Text = Int((500 / 1024) * ((32 * (Asc(recebido(8)) - 33)) + (Asc(recebido(9)) - 33))) / 100
Label_forca_STD.Text = MaskedTextBox_ganho_ADC_STD.Text * (Int((32 * (Asc(recebido(8)) - 33)) + (Asc(recebido(9)) - 33) - Int(MaskedTextBox_offset_ADC_STD.Text)))

'Sondas de corrente
Label_ADC_CD.Text = (32 * (Asc(recebido(10)) - 33)) + (Asc(recebido(11)) - 33)
Label_tensao_CD.Text = Int((500 / 1024) * ((32 * (Asc(recebido(10)) - 33)) + (Asc(recebido(11)) - 33))) / 100
If (Int((500 / 1024) * ((32 * (Asc(recebido(10)) - 33)) + (Asc(recebido(11)) - 33))) / 100 > 4.5)
Then
    Label_corrente_CD.Text = "< - 47,96"
ElseIf (Int((500 / 1024) * ((32 * (Asc(recebido(10)) - 33)) + (Asc(recebido(11)) - 33))) / 100 < 0.5)
Then
    Label_corrente_CD.Text = "Desligada"
Else
    Label_corrente_CD.Text = Int(100 * (2.5 - (5 / 1024) * ((32 * (Asc(recebido(10)) - 33)) + (Asc(recebido(11)) - 33))) / 0.0417) / 100
End If
Label_ADC_CE.Text = (32 * (Asc(recebido(12)) - 33)) + (Asc(recebido(13)) - 33)
Label_tensao_CE.Text = Int((500 / 1024) * ((32 * (Asc(recebido(12)) - 33)) + (Asc(recebido(13)) - 33))) / 100
If (Int((500 / 1024) * ((32 * (Asc(recebido(12)) - 33)) + (Asc(recebido(13)) - 33))) / 100 > 4.5)
Then
    Label_corrente_CE.Text = "< - 47,96"
ElseIf (Int((500 / 1024) * ((32 * (Asc(recebido(12)) - 33)) + (Asc(recebido(13)) - 33))) / 100 < 0.5)
Then
    Label_corrente_CE.Text = "Desligada"
Else
    Label_corrente_CE.Text = Int(100 * (2.5 - (5 / 1024) * ((32 * (Asc(recebido(12)) - 33)) + (Asc(recebido(13)) - 33))) / 0.0417) / 100
End If

'Motores
Label_registro_PWM_esq.Text = (Asc(recebido(15)) - 33) * 32 + Asc(recebido(16)) - 33
Label_registro_PWM_dir.Text = (Asc(recebido(17)) - 33) * 32 + Asc(recebido(18)) - 33
Label_perc_PWM_esq.Text = Int(0.625 * ((Asc(recebido(15)) - 33) * 32 + Asc(recebido(16)) - 33))
Label_perc_PWM_dir.Text = Int(0.625 * ((Asc(recebido(17)) - 33) * 32 + Asc(recebido(18)) - 33))
RectangleShape_pwm_esq.Height = Int(124 - 0.65 * ((Asc(recebido(15)) - 33) * 32 + Asc(recebido(16)) - 33))
RectangleShape_pwm_dir.Height = Int(124 - 0.65 * ((Asc(recebido(17)) - 33) * 32 + Asc(recebido(18)) - 33))

```

```

'Componentes de control
Label_AL_Componente_Controlo.Text = Int(((Asc(recebido(19)) - 33) + 0.01 *
(Asc(recebido(20)) - 33) - 20.0) * 100) / 100
Label_V_Componente_Controlo.Text = Int(((Asc(recebido(21)) - 33) + 0.01 * (Asc(recebido(22))
- 33) - 20.0) * 100) / 100
Label_CC_Componente_Controlo.Text = Int(((Asc(recebido(23)) - 33) + 0.01 *
(Asc(recebido(24)) - 33) - 20.0) * 100) / 100

Dim byte_pedido As Integer = (Asc(recebido(14)) - 33)
Dim enviado As String = "A"

'Envio de datos para o PIC
If ProgressBar_act_datos.Value < 32 Then
    Button_enviar_offset.Enabled = False
    Button_act_controladores.Enabled = False
    Button_act_limite_FC.Enabled = False
    Button_act_datos.Enabled = False
    If ProgressBar_act_datos.Value = 0 Then
        ProgressBar_act_datos.Value = 1
        ProgressBar_act_controladores.Value = 0
    End If
    If (ProgressBar_act_datos.Value = 1 And ProgressBar_act_controladores.Value = 32) Then
        ProgressBar_act_datos.Value = 9
        ProgressBar_act_offset.Value = 0
    End If

    If (ProgressBar_act_datos.Value = 9 And ProgressBar_act_offset.Value = 32) Then
        ProgressBar_act_datos.Value = 19
        ProgressBar_act_limite_FC.Value = 0
    End If
    If (ProgressBar_act_datos.Value = 19 And ProgressBar_act_limite_FC.Value = 32) Then
        ProgressBar_act_datos.Value = 32
        Button_enviar_offset.Enabled = True
        Button_act_controladores.Enabled = True
        Button_act_limite_FC.Enabled = True
        Button_act_datos.Enabled = True
    End If
End If

'Envio das constantes dos controladores para o PIC
If ProgressBar_act_controladores.Value < 32 Then
    Button_enviar_offset.Enabled = False
    Button_act_controladores.Enabled = False
    Button_act_limite_FC.Enabled = False
    Button_act_datos.Enabled = False
    ProgressBar_act_controladores.Value = byte_pedido
    If byte_pedido = 1 Then
        enviado = "T"
    End If
    If byte_pedido = 2 Then
        enviado = "C"
    End If
    If byte_pedido = 3 Then
        enviado = Chr(Int(MaskedTextBox_AL_Kp.Text) + 10)
    End If
    If byte_pedido = 4 Then

```

```

        enviado = Chr(Int(100 * (MaskedTextBox_AL_Kp.Text - Int(MaskedTextBox_AL_Kp.Text))
+ 0.5) + 10)
    End If
    If byte_pedido = 5 Then
        enviado = Chr(Int(MaskedTextBox_AL_Ki.Text) + 10)
    End If
    If byte_pedido = 6 Then
        enviado = Chr(Int(100 * (MaskedTextBox_AL_Ki.Text - Int(MaskedTextBox_AL_Ki.Text))
+ 0.5) + 10)
    End If
    If byte_pedido = 7 Then
        enviado = Chr(Int(MaskedTextBox_AL_Kd.Text) + 10)
    End If
    If byte_pedido = 8 Then
        enviado = Chr(Int(100 * (MaskedTextBox_AL_Kd.Text - Int(MaskedTextBox_AL_Kd.Text))
+ 0.5) + 10)
    End If
    If byte_pedido = 9 Then
        enviado = Chr(Int(MaskedTextBox_AL_Limite.Text) + 10)
    End If
    If byte_pedido = 10 Then
        enviado = Chr(Int(100 * (MaskedTextBox_AL_Limite.Text -
Int(MaskedTextBox_AL_Limite.Text)) + 0.5) + 10)
    End If
    If byte_pedido = 11 Then
        enviado = Chr(Int(MaskedTextBox_V_Kp.Text) + 10)
    End If
    If byte_pedido = 12 Then
        enviado = Chr(Int(100 * (MaskedTextBox_V_Kp.Text - Int(MaskedTextBox_V_Kp.Text)) +
0.5) + 10)
    End If
    If byte_pedido = 13 Then
        enviado = Chr(Int(MaskedTextBox_V_Ki.Text) + 10)
    End If
    If byte_pedido = 14 Then
        enviado = Chr(Int(100 * (MaskedTextBox_V_Ki.Text - Int(MaskedTextBox_V_Ki.Text)) +
0.5) + 10)
    End If
    If byte_pedido = 15 Then
        enviado = Chr(Int(MaskedTextBox_V_Kd.Text) + 10)
    End If
    If byte_pedido = 16 Then
        enviado = Chr(Int(100 * (MaskedTextBox_V_Kd.Text - Int(MaskedTextBox_V_Kd.Text)) +
0.5) + 10)
    End If
    If byte_pedido = 17 Then
        enviado = Chr(Int(MaskedTextBox_V_Limite.Text) + 10)
    End If
    If byte_pedido = 18 Then
        enviado = Chr(Int(100 * (MaskedTextBox_V_Limite.Text -
Int(MaskedTextBox_V_Limite.Text)) + 0.5) + 10)
    End If
    If byte_pedido = 19 Then
        enviado = Chr(Int(MaskedTextBox_CC_ini_erro.Text) + 10)
    End If
    If byte_pedido = 20 Then
        enviado = Chr(Int(100 * (MaskedTextBox_CC_ini_erro.Text -
Int(MaskedTextBox_CC_ini_erro.Text)) + 0.5) + 10)

```

```

End If
If byte_pedido = 21 Then
    enviado = Chr(Int(MaskedTextBox_CC_limite.Text) + 10)
End If
If byte_pedido = 22 Then
    enviado = Chr(Int(100 * (MaskedTextBox_CC_limite.Text -
Int(MaskedTextBox_CC_limite.Text)) + 0.5) + 10)
End If
If byte_pedido = 23 Then
    enviado = Chr(Int(MaskedTextBox_CC_Kp_R.Text) + 10)
End If
If byte_pedido = 24 Then
    enviado = Chr(Int(100 * (MaskedTextBox_CC_Kp_R.Text -
Int(MaskedTextBox_CC_Kp_R.Text)) + 0.5) + 10)
End If
If byte_pedido = 25 Then
    enviado = Chr(Int(MaskedTextBox_V_Kp_R.Text) + 10)
End If
If byte_pedido = 26 Then
    enviado = Chr(Int(100 * (MaskedTextBox_V_Kp_R.Text -
Int(MaskedTextBox_V_Kp_R.Text)) + 0.5) + 10)
End If
If byte_pedido = 27 Then
    enviado = Chr(Int(MaskedTextBox_CC_Ki_perc.Text) + 10)
End If
If byte_pedido = 28 Then
    enviado = Chr(Int(100 * (MaskedTextBox_CC_Ki_perc.Text -
Int(MaskedTextBox_CC_Ki_perc.Text)) + 0.5) + 10)
End If
If byte_pedido = 29 Then
    enviado = "T"
End If
If byte_pedido = 30 Then
    enviado = "C"
End If
If byte_pedido > 30 Then
    enviado = "C"
    If ProgressBar_act_datos.Value = 32 Then
        Button_enviar_offset.Enabled = True
        Button_act_controladores.Enabled = True
        Button_act_limite_FC.Enabled = True
        Button_act_datos.Enabled = True
    End If
End If
SerialPort1.Write(enviado)
Label_nr_byte_enviado.Text = byte_pedido
Label_ascii_byte_enviado.Text = Asc(enviado)
Label_caracter_byte_enviado.Text = enviado
End If

'Envio do offset dos sensores para o PIC
If ProgressBar_act_offset.Value < 32 Then
    Button_enviar_offset.Enabled = False
    Button_act_controladores.Enabled = False
    Button_act_limite_FC.Enabled = False
    Button_act_datos.Enabled = False
    ProgressBar_act_offset.Value = byte_pedido
    If byte_pedido = 1 Then

```

```

        enviado = "O"
    End If
    If byte_pedido = 2 Then
        enviado = "F"
    End If
    If byte_pedido = 3 Then
        enviado = "F"
    End If
    If byte_pedido = 4 Then
        enviado = "S"
    End If
    If byte_pedido = 5 Then
        enviado = "E"
    End If
    If byte_pedido = 6 Then
        enviado = "T"
    End If
    If byte_pedido = 7 Then
        enviado = Chr(Int(Int(MaskedTextBox_offset_ADC_SFE.Text) / 64) + 60)
    End If
    If byte_pedido = 8 Then
        enviado = Chr(MaskedTextBox_offset_ADC_SFE.Text -
Int(MaskedTextBox_offset_ADC_SFE.Text / 64) * 64 + 60)
    End If
    If byte_pedido = 9 Then
        enviado = Chr(Int(MaskedTextBox_offset_ADC_SFD.Text / 64) + 60)
    End If
    If byte_pedido = 10 Then
        enviado = Chr(MaskedTextBox_offset_ADC_SFD.Text -
Int(MaskedTextBox_offset_ADC_SFD.Text / 64) * 64 + 60)
    End If
    If byte_pedido = 11 Then
        enviado = Chr(Int(MaskedTextBox_offset_ADC_STE.Text / 64) + 60)
    End If
    If byte_pedido = 12 Then
        enviado = Chr(MaskedTextBox_offset_ADC_STE.Text -
Int(MaskedTextBox_offset_ADC_STE.Text / 64) * 64 + 60)
    End If
    If byte_pedido = 13 Then
        enviado = Chr(Int(MaskedTextBox_offset_ADC_STD.Text / 64) + 60)
    End If
    If byte_pedido = 14 Then
        enviado = Chr(MaskedTextBox_offset_ADC_STD.Text -
Int(MaskedTextBox_offset_ADC_STD.Text / 64) * 64 + 60)
    End If
    If byte_pedido = 15 Then
        enviado = Chr(Int(MaskedTextBox_ganho_ADC_SFE.Text) + 10)
    End If
    If byte_pedido = 16 Then
        enviado = Chr(Int(100 * (MaskedTextBox_ganho_ADC_SFE.Text -
Int(MaskedTextBox_ganho_ADC_SFE.Text)) + 0.5) + 10)
    End If
    If byte_pedido = 17 Then
        enviado = Chr(Int(MaskedTextBox_ganho_ADC_SFD.Text) + 10)
    End If
    If byte_pedido = 18 Then
        enviado = Chr(Int(100 * (MaskedTextBox_ganho_ADC_SFD.Text -
Int(MaskedTextBox_ganho_ADC_SFD.Text)) + 0.5) + 10)
    End If

```



```

End If
If byte_pedido = 19 Then
    enviado = Chr(Int(MaskedTextBox_ganho_ADC_STE.Text) + 10)
End If
If byte_pedido = 20 Then
    enviado = Chr(Int(100 * (MaskedTextBox_ganho_ADC_STE.Text -
Int(MaskedTextBox_ganho_ADC_STE.Text)) + 0.5) + 10)
End If
If byte_pedido = 21 Then
    enviado = Chr(Int(MaskedTextBox_ganho_ADC_STD.Text) + 10)
End If
If byte_pedido = 22 Then
    enviado = Chr(Int(100 * (MaskedTextBox_ganho_ADC_STD.Text -
Int(MaskedTextBox_ganho_ADC_STD.Text)) + 0.5) + 10)
End If
If byte_pedido > 22 Then
    enviado = "A"
    If ProgressBar_act_dados.Value = 32 Then
        Button_enviar_offset.Enabled = True
        Button_act_controladores.Enabled = True
        Button_act_limite_FC.Enabled = True
        Button_act_dados.Enabled = True
    End If
End If
SerialPort1.Write(enviado)
Label_nr_byte_enviado.Text = byte_pedido
Label_ascii_byte_enviado.Text = Asc(enviado)
Label_caracter_byte_enviado.Text = enviado
End If

```

'Actualizar limite do factor de ciclo

```

If ProgressBar_act_limite_FC.Value < 32 Then
    Button_enviar_offset.Enabled = False
    Button_act_controladores.Enabled = False
    Button_act_limite_FC.Enabled = False
    Button_act_dados.Enabled = False
    ProgressBar_act_limite_FC.Value = byte_pedido
    If byte_pedido = 1 Then
        enviado = "L"
    End If
    If byte_pedido = 2 Then
        enviado = "I"
    End If
    If byte_pedido = 3 Then
        enviado = "M"
    End If
    If byte_pedido = 4 Then
        enviado = "I"
    End If
    If byte_pedido = 5 Then
        enviado = "T"
    End If
    If byte_pedido = 6 Then
        enviado = "E"
    End If
    If byte_pedido = 7 Then
        enviado = "F"
    End If

```

```

If byte_pedido = 8 Then
    enviado = "C"
End If
If byte_pedido = 9 Then
    enviado = Chr(Int(MaskedTextBox_limite_FC.Text) + 10)
End If
If byte_pedido > 9 Then
    enviado = "A"
    If ProgressBar_act_dados.Value = 32 Then
        Button_enviar_offset.Enabled = True
        Button_act_controladores.Enabled = True
        Button_act_limite_FC.Enabled = True
        Button_act_dados.Enabled = True
    End If
End If
SerialPort1.Write(enviado)
Label_nr_byte_enviado.Text = byte_pedido
Label_ascii_byte_enviado.Text = Asc(enviado)
Label_caracter_byte_enviado.Text = enviado
End If

'Actualização do centro de massa
Dim ganho_horizontal As Double = 0.72
Dim horizontal As Double = Int(Panel_xoy.Size.Width / 2 - OvalShape1.Width / 2 +
ganho_horizontal * (-Label_forca_SFE.Text + Label_forca_SFD.Text - Label_forca_STE.Text +
Label_forca_STD.Text))
OvalShape9.Left = OvalShape8.Left
OvalShape8.Left = OvalShape7.Left
OvalShape7.Left = OvalShape6.Left
OvalShape6.Left = OvalShape5.Left
OvalShape5.Left = OvalShape4.Left
OvalShape4.Left = OvalShape3.Left
OvalShape3.Left = OvalShape2.Left
OvalShape2.Left = OvalShape1.Left
If horizontal > Panel_xoy.Size.Width - OvalShape1.Width Then
    OvalShape1.Left = Panel_xoy.Size.Width - OvalShape1.Width
ElseIf horizontal < 0 Then
    OvalShape1.Left = 0
Else
    OvalShape1.Left = horizontal
End If

Dim ganho_vertical As Double = 0.6
Dim vertical As Double = Int(Panel_xoy.Size.Height / 2 - OvalShape1.Height / 2 + ganho_vertical
* (-Label_forca_SFE.Text - Label_forca_SFD.Text + Label_forca_STE.Text + Label_forca_STD.Text))
OvalShape9.Top = OvalShape8.Top
OvalShape8.Top = OvalShape7.Top
OvalShape7.Top = OvalShape6.Top
OvalShape6.Top = OvalShape5.Top
OvalShape5.Top = OvalShape4.Top
OvalShape4.Top = OvalShape3.Top
OvalShape3.Top = OvalShape2.Top
OvalShape2.Top = OvalShape1.Top
If vertical > Panel_xoy.Size.Height - OvalShape2.Height Then
    OvalShape1.Top = Panel_xoy.Size.Height - OvalShape1.Height
ElseIf vertical < 0 Then
    OvalShape1.Top = 0
Else

```

```

        OvalShape1.Top = vertical
    End If
Else
    Label_falhas_com.Text = Label_falhas_com.Text + 1
    recebido = SerialPort1.ReadExisting
End If
Else
    recebido = SerialPort1.ReadExisting
End If

End Sub

Private Sub MaskedTextBox_offset_tensao_SFD_Leave(sender As Object, e As EventArgs) Handles
MaskedTextBox_offset_tensao_SFD.Leave
    If Not IsNumeric(MaskedTextBox_offset_tensao_SFD.Text) Then
        MsgBox("Números apenas!", vbInformation)
        MaskedTextBox_offset_tensao_SFD.Text = Int((5000 / 1023) *
Int(MaskedTextBox_offset_ADC_SFD.Text)) / 1000
    Else
        If (Int(MaskedTextBox_offset_tensao_SFD.Text) > 5 Or
Int(MaskedTextBox_offset_tensao_SFD.Text) < 0) Then
            MsgBox("Intervalo [0;5]", vbInformation)
            MaskedTextBox_offset_tensao_SFD.Text = Int((5000 / 1023) *
Int(MaskedTextBox_offset_ADC_SFD.Text)) / 1000
        Else
            MaskedTextBox_offset_tensao_SFD.Text = Int(1000 * MaskedTextBox_offset_tensao_SFD.Text)
/ 1000
            MaskedTextBox_offset_ADC_SFD.Text = Int((1023 / 5) *
MaskedTextBox_offset_tensao_SFD.Text)
        End If
    End If
End Sub

Private Sub MaskedTextBox_offset_tensao_STD_Leave(sender As Object, e As EventArgs) Handles
MaskedTextBox_offset_tensao_STD.Leave
    If Not IsNumeric(MaskedTextBox_offset_tensao_STD.Text) Then
        MsgBox("Números apenas!", vbInformation)
        MaskedTextBox_offset_tensao_STD.Text = Int((5000 / 1023) *
Int(MaskedTextBox_offset_ADC_STD.Text)) / 1000
    Else
        If (Int(MaskedTextBox_offset_tensao_STD.Text) > 5 Or
Int(MaskedTextBox_offset_tensao_STD.Text) < 0) Then
            MsgBox("Intervalo [0;5]", vbInformation)
            MaskedTextBox_offset_tensao_STD.Text = Int((5000 / 1023) *
Int(MaskedTextBox_offset_ADC_STD.Text)) / 1000
        Else
            MaskedTextBox_offset_tensao_STD.Text = Int(1000 * MaskedTextBox_offset_tensao_STD.Text)
/ 1000
            MaskedTextBox_offset_ADC_STD.Text = Int((1023 / 5) *
MaskedTextBox_offset_tensao_STD.Text)
        End If
    End If
End Sub

Private Sub MaskedTextBox_offset_tensao_SFE_Leave(sender As Object, e As EventArgs) Handles
MaskedTextBox_offset_tensao_SFE.Leave
    If Not IsNumeric(MaskedTextBox_offset_tensao_SFE.Text) Then

```

```

        MsgBox("Números apenas!", vbInformation)
        MaskedTextBox_offset_tensao_SFE.Text = Int((5000 / 1023) *
Int(MaskedTextBox_offset_ADC_SFE.Text)) / 1000
    Else
        If (Int(MaskedTextBox_offset_tensao_SFE.Text) > 5 Or
Int(MaskedTextBox_offset_tensao_SFE.Text) < 0) Then
            MsgBox("Intervalo [0;5]", vbInformation)
            MaskedTextBox_offset_tensao_SFE.Text = Int((5000 / 1023) *
Int(MaskedTextBox_offset_ADC_SFE.Text)) / 1000
        Else
            MaskedTextBox_offset_tensao_SFE.Text = Int(1000 * MaskedTextBox_offset_tensao_SFE.Text)
/ 1000
            MaskedTextBox_offset_ADC_SFE.Text = Int((1023 / 5) *
MaskedTextBox_offset_tensao_SFE.Text)
        End If
    End If
End Sub
Private Sub MaskedTextBox_offset_tensao_STE_Leave(sender As Object, e As EventArgs) Handles
MaskedTextBox_offset_tensao_STE.Leave
    If Not IsNumeric(MaskedTextBox_offset_tensao_STE.Text) Then
        MsgBox("Números apenas!", vbInformation)
        MaskedTextBox_offset_tensao_STE.Text = Int((5000 / 1023) *
Int(MaskedTextBox_offset_ADC_STE.Text)) / 1000
    Else
        If (Int(MaskedTextBox_offset_tensao_STE.Text) > 5 Or
Int(MaskedTextBox_offset_tensao_STE.Text) < 0) Then
            MsgBox("Intervalo [0;5]", vbInformation)
            MaskedTextBox_offset_tensao_STE.Text = Int((5000 / 1023) *
Int(MaskedTextBox_offset_ADC_STE.Text)) / 1000
        Else
            MaskedTextBox_offset_tensao_STE.Text = Int(1000 * MaskedTextBox_offset_tensao_STE.Text)
/ 1000
            MaskedTextBox_offset_ADC_STE.Text = Int((1023 / 5) *
MaskedTextBox_offset_tensao_STE.Text)
        End If
    End If
End Sub

Private Sub Button_offset_sensores_Click(sender As Object, e As EventArgs) Handles
Button_offset_sensores.Click
    MaskedTextBox_offset_ADC_SFE.Text = Label_ADC_SFE.Text
    MaskedTextBox_offset_tensao_SFE.Text = Int((5000 / 1023) * Label_ADC_SFE.Text) / 1000
    MaskedTextBox_offset_ADC_SFD.Text = Label_ADC_SFD.Text
    MaskedTextBox_offset_tensao_SFD.Text = Int((5000 / 1023) * Label_ADC_SFD.Text) / 1000
    MaskedTextBox_offset_ADC_STE.Text = Label_ADC_STE.Text
    MaskedTextBox_offset_tensao_STE.Text = Int((5000 / 1023) * Label_ADC_STE.Text) / 1000
    MaskedTextBox_offset_ADC_STD.Text = Label_ADC_STD.Text
    MaskedTextBox_offset_tensao_STD.Text = Int((5000 / 1023) * Label_ADC_STD.Text) / 1000
End Sub
Private Sub Button_enviar_offset_Click(sender As Object, e As EventArgs) Handles
Button_enviar_offset.Click
    ProgressBar_act_offset.Value = 0
End Sub
Private Sub Button_act_controladores_Click(sender As Object, e As EventArgs) Handles
Button_act_controladores.Click
    ProgressBar_act_controladores.Value = 0
End Sub

```

```

Private Sub Button_act_limite_FC_Click(sender As Object, e As EventArgs) Handles
Button_act_limite_FC.Click
    ProgressBar_act_limite_FC.Value = 0
End Sub
Private Sub Button_act_dados_Click(sender As Object, e As EventArgs) Handles Button_act_dados.Click
    ProgressBar_act_dados.Value = 0
End Sub
Private Sub MaskedTextBox_AL_Kp_TextChanged(sender As Object, e As EventArgs) Handles
MaskedTextBox_AL_Kp.TextChanged
    If Not IsNumeric(MaskedTextBox_AL_Kp.Text) Then
        MaskedTextBox_AL_Kp.Text = 0
        MsgBox("Números apenas!", vbInformation)
    Else
        If (Int(MaskedTextBox_AL_Kp.Text) > 99.99 Or Int(MaskedTextBox_AL_Kp.Text) < 0) Then
            MaskedTextBox_AL_Kp.Text = 0
            MsgBox("Intervalo [0;99.99]", vbInformation)
        End If
    End If
End Sub

Private Sub MaskedTextBox_AL_Ki_TextChanged(sender As Object, e As EventArgs) Handles
MaskedTextBox_AL_Ki.TextChanged
    If Not IsNumeric(MaskedTextBox_AL_Ki.Text) Then
        MaskedTextBox_AL_Ki.Text = 0
        MsgBox("Números apenas!", vbInformation)
    Else
        If (Int(MaskedTextBox_AL_Ki.Text) > 99.99 Or Int(MaskedTextBox_AL_Ki.Text) < 0) Then
            MaskedTextBox_AL_Ki.Text = 0
            MsgBox("Intervalo [0;99.99]", vbInformation)
        End If
    End If
End Sub

Private Sub MaskedTextBox_AL_Kd_TextChanged(sender As Object, e As EventArgs) Handles
MaskedTextBox_AL_Kd.TextChanged
    If Not IsNumeric(MaskedTextBox_AL_Kd.Text) Then
        MaskedTextBox_AL_Kd.Text = 0
        MsgBox("Números apenas!", vbInformation)
    Else
        If (Int(MaskedTextBox_AL_Kd.Text) > 99.99 Or Int(MaskedTextBox_AL_Kd.Text) < 0) Then
            MaskedTextBox_AL_Kd.Text = 0
            MsgBox("Intervalo [0;99.99]", vbInformation)
        End If
    End If
End Sub

Private Sub MaskedTextBox_AL_Limite_TextChanged(sender As Object, e As EventArgs) Handles
MaskedTextBox_AL_Limite.TextChanged
    If Not IsNumeric(MaskedTextBox_AL_Limite.Text) Then
        MaskedTextBox_AL_Limite.Text = 90
        MsgBox("Números apenas!", vbInformation)
    Else
        If (Int(MaskedTextBox_AL_Limite.Text) > 100 Or Int(MaskedTextBox_AL_Limite.Text) < 0) Then
            MaskedTextBox_AL_Limite.Text = 90
            MsgBox("Intervalo [0;100]", vbInformation)
        End If
    End If
End Sub

```

```

Private Sub MaskedTextBox_V_Kp_TextChanged(sender As Object, e As EventArgs) Handles
MaskedTextBox_V_Kp.TextChanged
    If Not IsNumeric(MaskedTextBox_V_Kp.Text) Then
        MaskedTextBox_V_Kp.Text = 0
        MsgBox("Números apenas!", vbInformation)
    Else
        If (Int(MaskedTextBox_V_Kp.Text) > 99.99 Or Int(MaskedTextBox_V_Kp.Text) < 0) Then
            MaskedTextBox_V_Kp.Text = 0
            MsgBox("Intervalo [0;99.99]", vbInformation)
        End If
    End If
End Sub

Private Sub MaskedTextBox_V_Ki_TextChanged(sender As Object, e As EventArgs) Handles
MaskedTextBox_V_Ki.TextChanged
    If Not IsNumeric(MaskedTextBox_V_Ki.Text) Then
        MaskedTextBox_V_Ki.Text = 0
        MsgBox("Números apenas!", vbInformation)
    Else
        If (Int(MaskedTextBox_V_Ki.Text) > 99.99 Or Int(MaskedTextBox_V_Ki.Text) < 0) Then
            MaskedTextBox_V_Ki.Text = 0
            MsgBox("Intervalo [0;99.99]", vbInformation)
        End If
    End If
End Sub

Private Sub MaskedTextBox_V_Kd_TextChanged(sender As Object, e As EventArgs) Handles
MaskedTextBox_V_Kd.TextChanged
    If Not IsNumeric(MaskedTextBox_V_Kd.Text) Then
        MaskedTextBox_V_Kd.Text = 0
        MsgBox("Números apenas!", vbInformation)
    Else
        If (Int(MaskedTextBox_V_Kd.Text) > 99.99 Or Int(MaskedTextBox_V_Kd.Text) < 0) Then
            MaskedTextBox_V_Kd.Text = 0
            MsgBox("Intervalo [0;99.99]", vbInformation)
        End If
    End If
End Sub

Private Sub MaskedTextBox_V_Limite_TextChanged(sender As Object, e As EventArgs) Handles
MaskedTextBox_V_Limite.TextChanged
    If Not IsNumeric(MaskedTextBox_V_Limite.Text) Then
        MaskedTextBox_V_Limite.Text = 90
        MsgBox("Números apenas!", vbInformation)
    Else
        If (Int(MaskedTextBox_V_Limite.Text) > 100 Or Int(MaskedTextBox_V_Limite.Text) < 0) Then
            MaskedTextBox_V_Limite.Text = 90
            MsgBox("Intervalo [0;100]", vbInformation)
        End If
    End If
End Sub

Private Sub MaskedTextBox_V_Kp_R_TextChanged(sender As Object, e As EventArgs) Handles
MaskedTextBox_V_Kp_R.TextChanged
    If Not IsNumeric(MaskedTextBox_V_Kp_R.Text) Then
        MaskedTextBox_V_Kp_R.Text = 10
        MsgBox("Números apenas!", vbInformation)
    Else
        If (Int(MaskedTextBox_V_Kp_R.Text) > 100 Or Int(MaskedTextBox_V_Kp_R.Text) < 0) Then

```

```

        MaskedTextBox_V_Kp_R.Text = 10
        MsgBox("Intervalo [0;100]", vbInformation)
    End If
End If
End Sub

```

```

Private Sub MaskedTextBox_CC_ini_erro_TextChanged(sender As Object, e As EventArgs) Handles
MaskedTextBox_CC_ini_erro.TextChanged
    If Not IsNumeric(MaskedTextBox_CC_ini_erro.Text) Then
        MaskedTextBox_CC_ini_erro.Text = 8
        MsgBox("Números apenas!", vbInformation)
    Else
        If (MaskedTextBox_CC_ini_erro.Text > 12 Or MaskedTextBox_CC_ini_erro.Text < 0) Then
            MaskedTextBox_CC_ini_erro.Text = 8
            MsgBox("Intervalo [0;12]", vbInformation)
        End If
    End If
End If
End Sub

```

```

Private Sub MaskedTextBox_CC_limite_TextChanged(sender As Object, e As EventArgs) Handles
MaskedTextBox_CC_limite.TextChanged
    If Not IsNumeric(MaskedTextBox_CC_limite.Text) Then
        MaskedTextBox_CC_limite.Text = 10
        MsgBox("Números apenas!", vbInformation)
    Else
        If (MaskedTextBox_CC_limite.Text > 90 Or MaskedTextBox_CC_limite.Text < 0) Then
            MaskedTextBox_CC_limite.Text = 10
            MsgBox("Intervalo [0;90]", vbInformation)
        End If
    End If
End Sub

```

```

Private Sub MaskedTextBox_CC_Kp_R_TextChanged(sender As Object, e As EventArgs) Handles
MaskedTextBox_CC_Kp_R.TextChanged
    If Not IsNumeric(MaskedTextBox_CC_Kp_R.Text) Then
        MaskedTextBox_CC_Kp_R.Text = 10
        MsgBox("Números apenas!", vbInformation)
    Else
        If (Int(MaskedTextBox_CC_Kp_R.Text) > 3 Or Int(MaskedTextBox_CC_Kp_R.Text) < 0) Then
            MaskedTextBox_CC_Kp_R.Text = 1
            MsgBox("Intervalo [0;3]", vbInformation)
        End If
    End If
End Sub

```

```

Private Sub MaskedTextBox_limite_FC_TextChanged(sender As Object, e As EventArgs) Handles
MaskedTextBox_limite_FC.TextChanged
    If Not IsNumeric(MaskedTextBox_limite_FC.Text) Then
        MaskedTextBox_limite_FC.Text = 98
        MsgBox("Números apenas!", vbInformation)
    Else
        If (Int(MaskedTextBox_limite_FC.Text) > 99 Or Int(MaskedTextBox_limite_FC.Text) < 0) Then
            MaskedTextBox_limite_FC.Text = 98
            MsgBox("Intervalo [0;99]", vbInformation)
        End If
    End If
    MaskedTextBox_limite_FC.Text = Int(MaskedTextBox_limite_FC.Text)
End Sub

```

```

End Sub
Private Sub MaskedTextBox_ganho_ADC_SFE_TextChanged(sender As Object, e As EventArgs)
Handles MaskedTextBox_ganho_ADC_SFE.TextChanged
    If Not IsNumeric(MaskedTextBox_ganho_ADC_SFE.Text) Then
        MaskedTextBox_ganho_ADC_SFE.Text = 1
        MsgBox("Números apenas!", vbInformation)
    Else
        If (Int(MaskedTextBox_ganho_ADC_SFE.Text) > 100 Or
Int(MaskedTextBox_ganho_ADC_SFE.Text) < 0) Then
            MaskedTextBox_ganho_ADC_SFE.Text = 1
            MsgBox("Intervalo [0;100]", vbInformation)
        End If
    End If
End Sub

Private Sub MaskedTextBox_ganho_ADC_SFD_TextChanged(sender As Object, e As EventArgs)
Handles MaskedTextBox_ganho_ADC_SFD.TextChanged
    If Not IsNumeric(MaskedTextBox_ganho_ADC_SFD.Text) Then
        MaskedTextBox_ganho_ADC_SFD.Text = 1
        MsgBox("Números apenas!", vbInformation)
    Else
        If (Int(MaskedTextBox_ganho_ADC_SFD.Text) > 100 Or
Int(MaskedTextBox_ganho_ADC_SFD.Text) < 0) Then
            MaskedTextBox_ganho_ADC_SFD.Text = 1
            MsgBox("Intervalo [0;100]", vbInformation)
        End If
    End If
End Sub

Private Sub MaskedTextBox_ganho_ADC_STE_TextChanged(sender As Object, e As EventArgs)
Handles MaskedTextBox_ganho_ADC_STE.TextChanged
    If Not IsNumeric(MaskedTextBox_ganho_ADC_STE.Text) Then
        MaskedTextBox_ganho_ADC_STE.Text = 1
        MsgBox("Números apenas!", vbInformation)
    Else
        If (Int(MaskedTextBox_ganho_ADC_STE.Text) > 100 Or
Int(MaskedTextBox_ganho_ADC_STE.Text) < 0) Then
            MaskedTextBox_ganho_ADC_STE.Text = 1
            MsgBox("Intervalo [0;100]", vbInformation)
        End If
    End If
End Sub

Private Sub MaskedTextBox_ganho_ADC_STD_TextChanged(sender As Object, e As EventArgs)
Handles MaskedTextBox_ganho_ADC_STD.TextChanged
    If Not IsNumeric(MaskedTextBox_ganho_ADC_STD.Text) Then
        MaskedTextBox_ganho_ADC_STD.Text = 1
        MsgBox("Números apenas!", vbInformation)
    Else
        If (Int(MaskedTextBox_ganho_ADC_STD.Text) > 100 Or
Int(MaskedTextBox_ganho_ADC_STD.Text) < 0) Then
            MaskedTextBox_ganho_ADC_STD.Text = 1
            MsgBox("Intervalo [0;100]", vbInformation)
        End If
    End If
End Sub

Private Sub MaskedTextBox_offset_ADC_STD_TextChanged(sender As Object, e As EventArgs)
Handles MaskedTextBox_offset_ADC_STD.TextChanged

```



```

    If Not IsNumeric(MaskedTextBox_offset_ADC_STD.Text) Then
        MaskedTextBox_offset_ADC_STD.Text = Int((1023 / 5) *
MaskedTextBox_offset_tensao_STD.Text)
        MsgBox("Números apenas!", vbInformation)
    Else
        If (Int(MaskedTextBox_offset_ADC_STD.Text) > 1023 Or
Int(MaskedTextBox_offset_ADC_STD.Text) < 0) Then
            MaskedTextBox_offset_ADC_STD.Text = Int((1023 / 5) *
MaskedTextBox_offset_tensao_STD.Text)
            MsgBox("Intervalo [0;1023]", vbInformation)
        Else
            MaskedTextBox_offset_ADC_STD.Text = Int(MaskedTextBox_offset_ADC_STD.Text)
            MaskedTextBox_offset_tensao_STD.Text = Int((5000 / 1023) *
Int(MaskedTextBox_offset_ADC_STD.Text)) / 1000
        End If
    End If
End Sub

Private Sub MaskedTextBox_offset_ADC_STE_TextChanged(sender As Object, e As EventArgs)
Handles MaskedTextBox_offset_ADC_STE.TextChanged
    If Not IsNumeric(MaskedTextBox_offset_ADC_STE.Text) Then
        MaskedTextBox_offset_ADC_STE.Text = Int((1023 / 5) *
MaskedTextBox_offset_tensao_STE.Text)
        MsgBox("Números apenas!", vbInformation)
    Else
        If (Int(MaskedTextBox_offset_ADC_STE.Text) > 1023 Or
Int(MaskedTextBox_offset_ADC_STE.Text) < 0) Then
            MaskedTextBox_offset_ADC_STE.Text = Int((1023 / 5) *
MaskedTextBox_offset_tensao_STE.Text)
            MsgBox("Intervalo [0;1023]", vbInformation)
        Else
            MaskedTextBox_offset_ADC_STE.Text = Int(MaskedTextBox_offset_ADC_STE.Text)
            MaskedTextBox_offset_tensao_STE.Text = Int((5000 / 1023) *
Int(MaskedTextBox_offset_ADC_STE.Text)) / 1000
        End If
    End If
End Sub

Private Sub MaskedTextBox_offset_ADC_SFD_TextChanged(sender As Object, e As EventArgs)
Handles MaskedTextBox_offset_ADC_SFD.TextChanged
    If Not IsNumeric(MaskedTextBox_offset_ADC_SFD.Text) Then
        MaskedTextBox_offset_ADC_SFD.Text = Int((1023 / 5) *
MaskedTextBox_offset_tensao_SFD.Text)
        MsgBox("Números apenas!", vbInformation)
    Else
        If (Int(MaskedTextBox_offset_ADC_SFD.Text) > 1023 Or
Int(MaskedTextBox_offset_ADC_SFD.Text) < 0) Then
            MaskedTextBox_offset_ADC_SFD.Text = Int((1023 / 5) *
MaskedTextBox_offset_tensao_SFD.Text)
            MsgBox("Intervalo [0;1023]", vbInformation)
        Else
            MaskedTextBox_offset_ADC_SFD.Text = Int(MaskedTextBox_offset_ADC_SFD.Text)
            MaskedTextBox_offset_tensao_SFD.Text = Int((5000 / 1023) *
Int(MaskedTextBox_offset_ADC_SFD.Text)) / 1000
        End If
    End If
End Sub

```

```

Private Sub MaskedTextBox_offset_ADC_SFE_TextChanged(sender As Object, e As EventArgs)
Handles MaskedTextBox_offset_ADC_SFE.TextChanged
    If Not IsNumeric(MaskedTextBox_offset_ADC_SFE.Text) Then
        MaskedTextBox_offset_ADC_SFE.Text = Int((1023 / 5) *
MaskedTextBox_offset_tensao_SFE.Text)
        MsgBox("Números apenas!", vbInformation)
    Else
        If (Int(MaskedTextBox_offset_ADC_SFE.Text) > 1023 Or
Int(MaskedTextBox_offset_ADC_SFE.Text) < 0) Then
            MaskedTextBox_offset_ADC_SFE.Text = Int((1023 / 5) *
MaskedTextBox_offset_tensao_SFE.Text)
            MsgBox("Intervalo [0;1023]", vbInformation)
        Else
            MaskedTextBox_offset_ADC_SFE.Text = Int(MaskedTextBox_offset_ADC_SFE.Text)
            MaskedTextBox_offset_tensao_SFE.Text = Int((5000 / 1023) *
Int(MaskedTextBox_offset_ADC_SFE.Text)) / 1000
        End If
    End If
End Sub

Private Sub Button7_Click(sender As Object, e As EventArgs) Handles Button7.Click
    If (MaskedTextBox_offset_ADC_SFE.Text - 5 > 0) Then
        MaskedTextBox_offset_ADC_SFE.Text = MaskedTextBox_offset_ADC_SFE.Text - 5
    Else
        MaskedTextBox_offset_ADC_SFE.Text = 0
    End If
End Sub

Private Sub Button5_Click(sender As Object, e As EventArgs) Handles Button5.Click
    If (MaskedTextBox_offset_ADC_SFE.Text + 5 < 1023) Then
        MaskedTextBox_offset_ADC_SFE.Text = MaskedTextBox_offset_ADC_SFE.Text + 5
    Else
        MaskedTextBox_offset_ADC_SFE.Text = 1023
    End If
End Sub

Private Sub Button8_Click(sender As Object, e As EventArgs) Handles Button8.Click
    If (MaskedTextBox_offset_ADC_SFD.Text - 5 > 0) Then
        MaskedTextBox_offset_ADC_SFD.Text = MaskedTextBox_offset_ADC_SFD.Text - 5
    Else
        MaskedTextBox_offset_ADC_SFD.Text = 0
    End If
End Sub

Private Sub Button9_Click(sender As Object, e As EventArgs) Handles Button9.Click
    If (MaskedTextBox_offset_ADC_SFD.Text + 5 < 1023) Then
        MaskedTextBox_offset_ADC_SFD.Text = MaskedTextBox_offset_ADC_SFD.Text + 5
    Else
        MaskedTextBox_offset_ADC_SFD.Text = 1023
    End If
End Sub

Private Sub Button11_Click(sender As Object, e As EventArgs) Handles Button11.Click
    If (MaskedTextBox_offset_ADC_STE.Text - 5 > 0) Then
        MaskedTextBox_offset_ADC_STE.Text = MaskedTextBox_offset_ADC_STE.Text - 5
    Else
        MaskedTextBox_offset_ADC_STE.Text = 0
    End If
End Sub

Private Sub Button10_Click(sender As Object, e As EventArgs) Handles Button10.Click
    If (MaskedTextBox_offset_ADC_STE.Text + 5 < 1023) Then

```

```

        MaskedTextBox_offset_ADC_STE.Text = MaskedTextBox_offset_ADC_STE.Text + 5
    Else
        MaskedTextBox_offset_ADC_STE.Text = 1023
    End If
End Sub

Private Sub Button13_Click(sender As Object, e As EventArgs) Handles Button13.Click
    If (MaskedTextBox_offset_ADC_STD.Text - 5 > 0) Then
        MaskedTextBox_offset_ADC_STD.Text = MaskedTextBox_offset_ADC_STD.Text - 5
    Else
        MaskedTextBox_offset_ADC_STD.Text = 0
    End If
End Sub

Private Sub Button12_Click(sender As Object, e As EventArgs) Handles Button12.Click
    If (MaskedTextBox_offset_ADC_STD.Text + 5 < 1023) Then
        MaskedTextBox_offset_ADC_STD.Text = MaskedTextBox_offset_ADC_STD.Text + 5
    Else
        MaskedTextBox_offset_ADC_STD.Text = 1023
    End If
End Sub

Private Sub Button6_Click(sender As Object, e As EventArgs) Handles Button6.Click

    If (MaskedTextBox_offset_ADC_SFE.Text + 5 < 1023) Then
        MaskedTextBox_offset_ADC_SFE.Text = MaskedTextBox_offset_ADC_SFE.Text + 5
    Else
        MaskedTextBox_offset_ADC_SFE.Text = 1023
    End If
    If (MaskedTextBox_offset_ADC_SFD.Text + 5 < 1023) Then
        MaskedTextBox_offset_ADC_SFD.Text = MaskedTextBox_offset_ADC_SFD.Text + 5
    Else
        MaskedTextBox_offset_ADC_SFD.Text = 1023
    End If
    If (MaskedTextBox_offset_ADC_STE.Text - 5 > 0) Then
        MaskedTextBox_offset_ADC_STE.Text = MaskedTextBox_offset_ADC_STE.Text - 5
    Else
        MaskedTextBox_offset_ADC_STE.Text = 0
    End If
    If (MaskedTextBox_offset_ADC_STD.Text - 5 > 0) Then
        MaskedTextBox_offset_ADC_STD.Text = MaskedTextBox_offset_ADC_STD.Text - 5
    Else
        MaskedTextBox_offset_ADC_STD.Text = 0
    End If
End Sub

Private Sub Button3_Click(sender As Object, e As EventArgs) Handles Button3.Click
    If (MaskedTextBox_offset_ADC_SFE.Text + 5 < 1023) Then
        MaskedTextBox_offset_ADC_SFE.Text = MaskedTextBox_offset_ADC_SFE.Text + 5
    Else
        MaskedTextBox_offset_ADC_SFE.Text = 1023
    End If
    If (MaskedTextBox_offset_ADC_SFD.Text - 5 > 0) Then
        MaskedTextBox_offset_ADC_SFD.Text = MaskedTextBox_offset_ADC_SFD.Text - 5
    Else
        MaskedTextBox_offset_ADC_SFD.Text = 0
    End If
    If (MaskedTextBox_offset_ADC_STE.Text + 5 < 1023) Then
        MaskedTextBox_offset_ADC_STE.Text = MaskedTextBox_offset_ADC_STE.Text + 5
    Else

```

```

        MaskedTextBox_offset_ADC_STE.Text = 1023
    End If
    If (MaskedTextBox_offset_ADC_STD.Text - 5 > 0) Then
        MaskedTextBox_offset_ADC_STD.Text = MaskedTextBox_offset_ADC_STD.Text - 5
    Else
        MaskedTextBox_offset_ADC_STD.Text = 0
    End If
End Sub

Private Sub Button4_Click(sender As Object, e As EventArgs) Handles Button4.Click
    If (MaskedTextBox_offset_ADC_SFE.Text - 5 > 0) Then
        MaskedTextBox_offset_ADC_SFE.Text = MaskedTextBox_offset_ADC_SFE.Text - 5
    Else
        MaskedTextBox_offset_ADC_SFE.Text = 0
    End If
    If (MaskedTextBox_offset_ADC_SFD.Text + 5 < 1023) Then
        MaskedTextBox_offset_ADC_SFD.Text = MaskedTextBox_offset_ADC_SFD.Text + 5
    Else
        MaskedTextBox_offset_ADC_SFD.Text = 1023
    End If
    If (MaskedTextBox_offset_ADC_STE.Text - 5 > 0) Then
        MaskedTextBox_offset_ADC_STE.Text = MaskedTextBox_offset_ADC_STE.Text - 5
    Else
        MaskedTextBox_offset_ADC_STE.Text = 0
    End If
    If (MaskedTextBox_offset_ADC_STD.Text + 5 < 1023) Then
        MaskedTextBox_offset_ADC_STD.Text = MaskedTextBox_offset_ADC_STD.Text + 5
    Else
        MaskedTextBox_offset_ADC_STD.Text = 1023
    End If
End Sub

Private Sub Button14_Click(sender As Object, e As EventArgs) Handles Button14.Click
    If (MaskedTextBox_offset_ADC_SFE.Text - 5 > 0) Then
        MaskedTextBox_offset_ADC_SFE.Text = MaskedTextBox_offset_ADC_SFE.Text - 5
    Else
        MaskedTextBox_offset_ADC_SFE.Text = 0
    End If
    If (MaskedTextBox_offset_ADC_SFD.Text - 5 > 0) Then
        MaskedTextBox_offset_ADC_SFD.Text = MaskedTextBox_offset_ADC_SFD.Text - 5
    Else
        MaskedTextBox_offset_ADC_SFD.Text = 0
    End If
    If (MaskedTextBox_offset_ADC_STE.Text + 5 < 1023) Then
        MaskedTextBox_offset_ADC_STE.Text = MaskedTextBox_offset_ADC_STE.Text + 5
    Else
        MaskedTextBox_offset_ADC_STE.Text = 1023
    End If
    If (MaskedTextBox_offset_ADC_STD.Text + 5 < 1023) Then
        MaskedTextBox_offset_ADC_STD.Text = MaskedTextBox_offset_ADC_STD.Text + 5
    Else
        MaskedTextBox_offset_ADC_STD.Text = 1023
    End If
End Sub

Private Sub Button15_Click(sender As Object, e As EventArgs) Handles Button_Salva_ficheiro.Click
    Dim mydocpath As String = FolderBrowserDialog1.SelectedPath.ToString

```

```

If mydocpath.EndsWith("") Then
    mydocpath = mydocpath + TextBox_nome_ficheiro.Text.ToString + ".patins"
Else
    mydocpath = mydocpath + "\" + TextBox_nome_ficheiro.Text + ".patins"
End If

'Se existir o ficheiro envia para a reciclagem
Try
    My.Computer.FileSystem.DeleteFile(mydocpath,
        Microsoft.VisualBasic.FileIO.UIOption.AllDialogs,
        Microsoft.VisualBasic.FileIO.RecycleOption.SendToRecycleBin)
    MsgBox("Ficheiro anterior movido para a reciclagem")
Catch ex As Exception
    'nada
End Try

Dim sb As StringBuilder = New StringBuilder()
'Constantes do controlador
sb.AppendLine("=====")
sb.AppendLine("    CONSTANTES DO CONTROLADOR DOS PATINS ELECTRICOS")
sb.AppendLine("=====")
sb.AppendLine("CONTROLADOR ACELERAÇÃO LINEAR")
sb.AppendLine("Controlador Aceleração Linear - Ganho Kp|" + (
    Int(MaskedTextBox_AL_Kp.Text * 100).ToString + "|"))
sb.AppendLine("=====")
sb.AppendLine("Controlador Aceleração Linear - Ganho Ki|" + (
    Int(MaskedTextBox_AL_Ki.Text * 100).ToString + "|"))
sb.AppendLine("=====")
sb.AppendLine("Controlador Aceleração Linear - Ganho Kd|" + (
    Int(MaskedTextBox_AL_Kd.Text * 100).ToString + "|"))
sb.AppendLine("=====")
sb.AppendLine("Controlador Aceleração Linear - Limite|" + (
    Int(MaskedTextBox_AL_Limite.Text * 100).ToString + "|"))
sb.AppendLine("=====")
sb.AppendLine("CONTROLADOR ACELERAÇÃO LINEAR")
sb.AppendLine("Controlador Viragem - Ganho Kp|" + (
    Int(MaskedTextBox_V_Kp.Text * 100).ToString + "|"))
sb.AppendLine("=====")
sb.AppendLine("Controlador Viragem - Ganho Ki|" + (
    Int(MaskedTextBox_V_Ki.Text * 100).ToString + "|"))
sb.AppendLine("=====")
sb.AppendLine("Controlador Viragem - Ganho Kd|" + (
    Int(MaskedTextBox_V_Kd.Text * 100).ToString + "|"))
sb.AppendLine("=====")
sb.AppendLine("Controlador Viragem - Limite|" + (
    Int(MaskedTextBox_V_Limite.Text * 100).ToString + "|"))
sb.AppendLine("=====")
sb.AppendLine("Controlador Viragem - Pé no ar - Kp Realimentação|" + (
    Int(MaskedTextBox_V_Kp_R.Text * 100).ToString + "|"))
sb.AppendLine("=====")
sb.AppendLine("CONTROLADOR DE CORRENTE")
sb.AppendLine("Controlador Corrente - Corrente inicial de erro|" + (
    Int(MaskedTextBox_CC_ini_erro.Text * 100).ToString + "|"))
sb.AppendLine("=====")
sb.AppendLine("Controlador Corrente - Corrente limite|" + (
    Int(MaskedTextBox_CC_limite.Text * 100).ToString + "|"))
sb.AppendLine("=====")
sb.AppendLine("Controlador Corrente - Ganho integral de corrente|" + (

```

```

        Int(MaskedTextBox_CC_Ki_perc.Text * 100).ToString + "|"))
sb.AppendLine("=====")
sb.AppendLine("Controlador Corrente - Decaimento do erro de corrente|" + (
    Int(MaskedTextBox_CC_Kp_R.Text * 100).ToString + "|"))
sb.AppendLine("=====")
sb.AppendLine("LIMITE MAXIMO DO PWM")
sb.AppendLine("Limite máximo do PWM|" + (
    Int(MaskedTextBox_limite_FC.Text * 100).ToString + "|"))
sb.AppendLine("=====")
sb.AppendLine("GANHOS SENSORES DE FORÇA")
sb.AppendLine("Ganho Sensor Frente Esquerda|" + (
    Int(MaskedTextBox_ganho_ADC_SFE.Text * 100).ToString + "|"))
sb.AppendLine("=====")
sb.AppendLine("Ganho Sensor Frente Direita|" + (
    Int(MaskedTextBox_ganho_ADC_SFD.Text * 100).ToString + "|"))
sb.AppendLine("=====")
sb.AppendLine("Ganho Sensor Traseira Esquerda|" + (
    Int(MaskedTextBox_ganho_ADC_STE.Text * 100).ToString + "|"))
sb.AppendLine("=====")
sb.AppendLine("Ganho Sensor Traseira Direita|" + (
    Int(MaskedTextBox_ganho_ADC_STD.Text * 100).ToString + "|"))
sb.AppendLine("=====")
sb.AppendLine("OFFSET ADC SENSORES DE FORÇA")
sb.AppendLine("Offset ADC Sensor Frente Esquerda|" + (
    Int(MaskedTextBox_offset_ADC_SFE.Text * 100).ToString + "|"))
sb.AppendLine("=====")
sb.AppendLine("Offset ADC Sensor Frente Direita|" + (
    Int(MaskedTextBox_offset_ADC_SFD.Text * 100).ToString + "|"))
sb.AppendLine("=====")
sb.AppendLine("Offset ADC Sensor Traseira Esquerda|" + (
    Int(MaskedTextBox_offset_ADC_STE.Text * 100).ToString + "|"))
sb.AppendLine("=====")
sb.AppendLine("Offset ADC Sensor Traseira Direita|" + (
    Int(MaskedTextBox_offset_ADC_STD.Text * 100).ToString + "|"))
sb.AppendLine("=====")
sb.AppendLine()
sb.AppendLine()
Try
    Using outfile As StreamWriter = New StreamWriter(mydocpath, True)
        outfile.Write(sb.ToString()) '.WriteAsync(sb.ToString())
    End Using
Catch ex As Exception
    MsgBox("Não foi possível gravar o ficheiro" & vbCrLf & ex.Message)
End Try

End Sub

Private Sub Button16_Click(sender As Object, e As EventArgs) Handles Button_Abre_ficheiro.Click
    ' Dim mydocpath As String = Environment.GetFolderPath(Environment.SpecialFolder.Desktop)
    'MyDocuments
    Dim mydocpath As String = FolderBrowserDialog1.SelectedPath.ToString
    Dim ficheiro As String = ""
    If mydocpath.EndsWith("") Then
        ficheiro = mydocpath + ListBox2.SelectedItem
    Else
        ficheiro = mydocpath + "\" + ListBox2.SelectedItem
    End If
    Try

```

```

Using sr As StreamReader = New StreamReader(ficheiro, True)

Dim line = sr.ReadToEnd()
Dim strauxiliar As String = line
Dim strauxiliar2 As String = ""

'Controlo aceleração linear
While (Not strauxiliar.StartsWith("|") And Len(strauxiliar) > 2)
    strauxiliar = Mid(strauxiliar, 2, Len(strauxiliar) - 1)
End While
strauxiliar = Mid(strauxiliar, 2, Len(strauxiliar) - 1)
strauxiliar2 = ""
While (Not strauxiliar.StartsWith("|") And Len(strauxiliar) > 2)
    strauxiliar2 = strauxiliar2 + Mid(strauxiliar, 1, 1)
    strauxiliar = Mid(strauxiliar, 2, Len(strauxiliar) - 1)
End While
strauxiliar = Mid(strauxiliar, 2, Len(strauxiliar) - 1)
If CheckBox_AL.CheckState = CheckState.Checked Then
    MaskedTextBox_AL_Kp.Text = strauxiliar2 * 0.01
End If

While (Not strauxiliar.StartsWith("|") And Len(strauxiliar) > 2)
    strauxiliar = Mid(strauxiliar, 2, Len(strauxiliar) - 1)
End While
strauxiliar = Mid(strauxiliar, 2, Len(strauxiliar) - 1)
strauxiliar2 = ""
While (Not strauxiliar.StartsWith("|") And Len(strauxiliar) > 2)
    strauxiliar2 = strauxiliar2 + Mid(strauxiliar, 1, 1)
    strauxiliar = Mid(strauxiliar, 2, Len(strauxiliar) - 1)
End While
strauxiliar = Mid(strauxiliar, 2, Len(strauxiliar) - 1)
If CheckBox_AL.CheckState = CheckState.Checked Then
    MaskedTextBox_AL_Ki.Text = strauxiliar2 * 0.01
End If

While (Not strauxiliar.StartsWith("|") And Len(strauxiliar) > 2)
    strauxiliar = Mid(strauxiliar, 2, Len(strauxiliar) - 1)
End While
strauxiliar = Mid(strauxiliar, 2, Len(strauxiliar) - 1)
strauxiliar2 = ""
While (Not strauxiliar.StartsWith("|") And Len(strauxiliar) > 2)
    strauxiliar2 = strauxiliar2 + Mid(strauxiliar, 1, 1)
    strauxiliar = Mid(strauxiliar, 2, Len(strauxiliar) - 1)
End While
strauxiliar = Mid(strauxiliar, 2, Len(strauxiliar) - 1)
If CheckBox_AL.CheckState = CheckState.Checked Then
    MaskedTextBox_AL_Kd.Text = strauxiliar2 * 0.01
End If

While (Not strauxiliar.StartsWith("|") And Len(strauxiliar) > 2)
    strauxiliar = Mid(strauxiliar, 2, Len(strauxiliar) - 1)
End While
strauxiliar = Mid(strauxiliar, 2, Len(strauxiliar) - 1)
strauxiliar2 = ""
While (Not strauxiliar.StartsWith("|") And Len(strauxiliar) > 2)
    strauxiliar2 = strauxiliar2 + Mid(strauxiliar, 1, 1)
    strauxiliar = Mid(strauxiliar, 2, Len(strauxiliar) - 1)
End While

```



```

strauxiliar = Mid(strauxiliar, 2, Len(strauxiliar) - 1)
If CheckBox_AL.CheckState = CheckState.Checked Then
    MaskedTextBox_AL_Limite.Text = strauxiliar2 * 0.01
End If

'Controlo viragem
While (Not strauxiliar.StartsWith("|") And Len(strauxiliar) > 2)
    strauxiliar = Mid(strauxiliar, 2, Len(strauxiliar) - 1)
End While
strauxiliar = Mid(strauxiliar, 2, Len(strauxiliar) - 1)
strauxiliar2 = ""
While (Not strauxiliar.StartsWith("|") And Len(strauxiliar) > 2)
    strauxiliar2 = strauxiliar2 + Mid(strauxiliar, 1, 1)
    strauxiliar = Mid(strauxiliar, 2, Len(strauxiliar) - 1)
End While
strauxiliar = Mid(strauxiliar, 2, Len(strauxiliar) - 1)
If CheckBox_V.CheckState = CheckState.Checked Then
    MaskedTextBox_V_Kp.Text = strauxiliar2 * 0.01
End If

While (Not strauxiliar.StartsWith("|") And Len(strauxiliar) > 2)
    strauxiliar = Mid(strauxiliar, 2, Len(strauxiliar) - 1)
End While
strauxiliar = Mid(strauxiliar, 2, Len(strauxiliar) - 1)
strauxiliar2 = ""
While (Not strauxiliar.StartsWith("|") And Len(strauxiliar) > 2)
    strauxiliar2 = strauxiliar2 + Mid(strauxiliar, 1, 1)
    strauxiliar = Mid(strauxiliar, 2, Len(strauxiliar) - 1)
End While
strauxiliar = Mid(strauxiliar, 2, Len(strauxiliar) - 1)
If CheckBox_V.CheckState = CheckState.Checked Then
    MaskedTextBox_V_Ki.Text = strauxiliar2 * 0.01
End If

While (Not strauxiliar.StartsWith("|") And Len(strauxiliar) > 2)
    strauxiliar = Mid(strauxiliar, 2, Len(strauxiliar) - 1)
End While
strauxiliar = Mid(strauxiliar, 2, Len(strauxiliar) - 1)
strauxiliar2 = ""
While (Not strauxiliar.StartsWith("|") And Len(strauxiliar) > 2)
    strauxiliar2 = strauxiliar2 + Mid(strauxiliar, 1, 1)
    strauxiliar = Mid(strauxiliar, 2, Len(strauxiliar) - 1)
End While
strauxiliar = Mid(strauxiliar, 2, Len(strauxiliar) - 1)
If CheckBox_V.CheckState = CheckState.Checked Then
    MaskedTextBox_V_Kd.Text = strauxiliar2 * 0.01
End If

While (Not strauxiliar.StartsWith("|") And Len(strauxiliar) > 2)
    strauxiliar = Mid(strauxiliar, 2, Len(strauxiliar) - 1)
End While
strauxiliar = Mid(strauxiliar, 2, Len(strauxiliar) - 1)
strauxiliar2 = ""
While (Not strauxiliar.StartsWith("|") And Len(strauxiliar) > 2)
    strauxiliar2 = strauxiliar2 + Mid(strauxiliar, 1, 1)
    strauxiliar = Mid(strauxiliar, 2, Len(strauxiliar) - 1)
End While
strauxiliar = Mid(strauxiliar, 2, Len(strauxiliar) - 1)

```



```

If CheckBox_V.CheckState = CheckState.Checked Then
    MaskedTextBox_V_Limite.Text = strauxiliar2 * 0.01
End If

While (Not strauxiliar.StartsWith("|") And Len(strauxiliar) > 2)
    strauxiliar = Mid(strauxiliar, 2, Len(strauxiliar) - 1)
End While
strauxiliar = Mid(strauxiliar, 2, Len(strauxiliar) - 1)
strauxiliar2 = ""
While (Not strauxiliar.StartsWith("|") And Len(strauxiliar) > 2)
    strauxiliar2 = strauxiliar2 + Mid(strauxiliar, 1, 1)
    strauxiliar = Mid(strauxiliar, 2, Len(strauxiliar) - 1)
End While
strauxiliar = Mid(strauxiliar, 2, Len(strauxiliar) - 1)
If CheckBox_V.CheckState = CheckState.Checked Then
    MaskedTextBox_V_Kp_R.Text = strauxiliar2 * 0.01
End If

'Controlo de corriente
While (Not strauxiliar.StartsWith("|") And Len(strauxiliar) > 2)
    strauxiliar = Mid(strauxiliar, 2, Len(strauxiliar) - 1)
End While
strauxiliar = Mid(strauxiliar, 2, Len(strauxiliar) - 1)
strauxiliar2 = ""
While (Not strauxiliar.StartsWith("|") And Len(strauxiliar) > 2)
    strauxiliar2 = strauxiliar2 + Mid(strauxiliar, 1, 1)
    strauxiliar = Mid(strauxiliar, 2, Len(strauxiliar) - 1)
End While
strauxiliar = Mid(strauxiliar, 2, Len(strauxiliar) - 1)
If CheckBox_C.CheckState = CheckState.Checked Then
    MaskedTextBox_CC_ini_erro.Text = strauxiliar2 * 0.01
End If

While (Not strauxiliar.StartsWith("|") And Len(strauxiliar) > 2)
    strauxiliar = Mid(strauxiliar, 2, Len(strauxiliar) - 1)
End While
strauxiliar = Mid(strauxiliar, 2, Len(strauxiliar) - 1)
strauxiliar2 = ""
While (Not strauxiliar.StartsWith("|") And Len(strauxiliar) > 2)
    strauxiliar2 = strauxiliar2 + Mid(strauxiliar, 1, 1)
    strauxiliar = Mid(strauxiliar, 2, Len(strauxiliar) - 1)
End While
strauxiliar = Mid(strauxiliar, 2, Len(strauxiliar) - 1)
If CheckBox_C.CheckState = CheckState.Checked Then
    MaskedTextBox_CC_limite.Text = strauxiliar2 * 0.01
End If

While (Not strauxiliar.StartsWith("|") And Len(strauxiliar) > 2)
    strauxiliar = Mid(strauxiliar, 2, Len(strauxiliar) - 1)
End While
strauxiliar = Mid(strauxiliar, 2, Len(strauxiliar) - 1)
strauxiliar2 = ""
While (Not strauxiliar.StartsWith("|") And Len(strauxiliar) > 2)
    strauxiliar2 = strauxiliar2 + Mid(strauxiliar, 1, 1)
    strauxiliar = Mid(strauxiliar, 2, Len(strauxiliar) - 1)
End While
strauxiliar = Mid(strauxiliar, 2, Len(strauxiliar) - 1)
If CheckBox_C.CheckState = CheckState.Checked Then

```

```

        MaskedTextBox_CC_Ki_perc.Text = strauxiliar2 * 0.01
    End If

    While (Not strauxiliar.StartsWith("|") And Len(strauxiliar) > 2)
        strauxiliar = Mid(strauxiliar, 2, Len(strauxiliar) - 1)
    End While
    strauxiliar = Mid(strauxiliar, 2, Len(strauxiliar) - 1)
    strauxiliar2 = ""
    While (Not strauxiliar.StartsWith("|") And Len(strauxiliar) > 2)
        strauxiliar2 = strauxiliar2 + Mid(strauxiliar, 1, 1)
        strauxiliar = Mid(strauxiliar, 2, Len(strauxiliar) - 1)
    End While
    strauxiliar = Mid(strauxiliar, 2, Len(strauxiliar) - 1)
    If CheckBox_C.CheckState = CheckState.Checked Then
        MaskedTextBox_CC_Kp_R.Text = strauxiliar2 * 0.01
    End If

    'Limite do factor de ciclo
    While (Not strauxiliar.StartsWith("|") And Len(strauxiliar) > 2)
        strauxiliar = Mid(strauxiliar, 2, Len(strauxiliar) - 1)
    End While
    strauxiliar = Mid(strauxiliar, 2, Len(strauxiliar) - 1)
    strauxiliar2 = ""
    While (Not strauxiliar.StartsWith("|") And Len(strauxiliar) > 2)
        strauxiliar2 = strauxiliar2 + Mid(strauxiliar, 1, 1)
        strauxiliar = Mid(strauxiliar, 2, Len(strauxiliar) - 1)
    End While
    strauxiliar = Mid(strauxiliar, 2, Len(strauxiliar) - 1)
    If CheckBox_AL.CheckState = CheckState.Checked And CheckBox_V.CheckState =
CheckState.Checked And CheckBox_C.CheckState = CheckState.Checked Then
        MaskedTextBox_limite_FC.Text = strauxiliar2 * 0.01
    End If

    'Ganho dos sensores
    While (Not strauxiliar.StartsWith("|") And Len(strauxiliar) > 2)
        strauxiliar = Mid(strauxiliar, 2, Len(strauxiliar) - 1)
    End While
    strauxiliar = Mid(strauxiliar, 2, Len(strauxiliar) - 1)
    strauxiliar2 = ""
    While (Not strauxiliar.StartsWith("|") And Len(strauxiliar) > 2)
        strauxiliar2 = strauxiliar2 + Mid(strauxiliar, 1, 1)
        strauxiliar = Mid(strauxiliar, 2, Len(strauxiliar) - 1)
    End While
    strauxiliar = Mid(strauxiliar, 2, Len(strauxiliar) - 1)
    If CheckBox_Ganho_Sensores.CheckState = CheckState.Checked Then
        MaskedTextBox_ganho_ADC_SFE.Text = strauxiliar2 * 0.01
    End If

    While (Not strauxiliar.StartsWith("|") And Len(strauxiliar) > 2)
        strauxiliar = Mid(strauxiliar, 2, Len(strauxiliar) - 1)
    End While
    strauxiliar = Mid(strauxiliar, 2, Len(strauxiliar) - 1)
    strauxiliar2 = ""
    While (Not strauxiliar.StartsWith("|") And Len(strauxiliar) > 2)
        strauxiliar2 = strauxiliar2 + Mid(strauxiliar, 1, 1)
        strauxiliar = Mid(strauxiliar, 2, Len(strauxiliar) - 1)
    End While
    strauxiliar = Mid(strauxiliar, 2, Len(strauxiliar) - 1)

```

```

If CheckBox_Ganho_Sensores.CheckState = CheckState.Checked Then
    MaskedTextBox_ganho_ADC_SFD.Text = strauxiliar2 * 0.01
End If

While (Not strauxiliar.StartsWith("|") And Len(strauxiliar) > 2)
    strauxiliar = Mid(strauxiliar, 2, Len(strauxiliar) - 1)
End While
strauxiliar = Mid(strauxiliar, 2, Len(strauxiliar) - 1)
strauxiliar2 = ""
While (Not strauxiliar.StartsWith("|") And Len(strauxiliar) > 2)
    strauxiliar2 = strauxiliar2 + Mid(strauxiliar, 1, 1)
    strauxiliar = Mid(strauxiliar, 2, Len(strauxiliar) - 1)
End While
strauxiliar = Mid(strauxiliar, 2, Len(strauxiliar) - 1)
If CheckBox_Ganho_Sensores.CheckState = CheckState.Checked Then
    MaskedTextBox_ganho_ADC_STE.Text = strauxiliar2 * 0.01
End If

While (Not strauxiliar.StartsWith("|") And Len(strauxiliar) > 2)
    strauxiliar = Mid(strauxiliar, 2, Len(strauxiliar) - 1)
End While
strauxiliar = Mid(strauxiliar, 2, Len(strauxiliar) - 1)
strauxiliar2 = ""
While (Not strauxiliar.StartsWith("|") And Len(strauxiliar) > 2)
    strauxiliar2 = strauxiliar2 + Mid(strauxiliar, 1, 1)
    strauxiliar = Mid(strauxiliar, 2, Len(strauxiliar) - 1)
End While
strauxiliar = Mid(strauxiliar, 2, Len(strauxiliar) - 1)
If CheckBox_Ganho_Sensores.CheckState = CheckState.Checked Then
    MaskedTextBox_ganho_ADC_STD.Text = strauxiliar2 * 0.01
End If

'Offset Sensores
While (Not strauxiliar.StartsWith("|") And Len(strauxiliar) > 2)
    strauxiliar = Mid(strauxiliar, 2, Len(strauxiliar) - 1)
End While
strauxiliar = Mid(strauxiliar, 2, Len(strauxiliar) - 1)
strauxiliar2 = ""
While (Not strauxiliar.StartsWith("|") And Len(strauxiliar) > 2)
    strauxiliar2 = strauxiliar2 + Mid(strauxiliar, 1, 1)
    strauxiliar = Mid(strauxiliar, 2, Len(strauxiliar) - 1)
End While
strauxiliar = Mid(strauxiliar, 2, Len(strauxiliar) - 1)
If CheckBox_Offset_ADC_Sensores.CheckState = CheckState.Checked Then
    MaskedTextBox_offset_ADC_SFE.Text = strauxiliar2 * 0.01
End If

While (Not strauxiliar.StartsWith("|") And Len(strauxiliar) > 2)
    strauxiliar = Mid(strauxiliar, 2, Len(strauxiliar) - 1)
End While
strauxiliar = Mid(strauxiliar, 2, Len(strauxiliar) - 1)
strauxiliar2 = ""
While (Not strauxiliar.StartsWith("|") And Len(strauxiliar) > 2)
    strauxiliar2 = strauxiliar2 + Mid(strauxiliar, 1, 1)
    strauxiliar = Mid(strauxiliar, 2, Len(strauxiliar) - 1)
End While
strauxiliar = Mid(strauxiliar, 2, Len(strauxiliar) - 1)
If CheckBox_Offset_ADC_Sensores.CheckState = CheckState.Checked Then

```

```

        MaskedTextBox_offset_ADC_SFD.Text = strauxiliar2 * 0.01
    End If

    While (Not strauxiliar.StartsWith("|") And Len(strauxiliar) > 2)
        strauxiliar = Mid(strauxiliar, 2, Len(strauxiliar) - 1)
    End While
    strauxiliar = Mid(strauxiliar, 2, Len(strauxiliar) - 1)
    strauxiliar2 = ""
    While (Not strauxiliar.StartsWith("|") And Len(strauxiliar) > 2)
        strauxiliar2 = strauxiliar2 + Mid(strauxiliar, 1, 1)
        strauxiliar = Mid(strauxiliar, 2, Len(strauxiliar) - 1)
    End While
    strauxiliar = Mid(strauxiliar, 2, Len(strauxiliar) - 1)
    If CheckBox_Offset_ADC_Sensores.CheckState = CheckState.Checked Then
        MaskedTextBox_offset_ADC_STE.Text = strauxiliar2 * 0.01
    End If

    While (Not strauxiliar.StartsWith("|") And Len(strauxiliar) > 2)
        strauxiliar = Mid(strauxiliar, 2, Len(strauxiliar) - 1)
    End While
    strauxiliar = Mid(strauxiliar, 2, Len(strauxiliar) - 1)
    strauxiliar2 = ""
    While (Not strauxiliar.StartsWith("|") And Len(strauxiliar) > 2)
        strauxiliar2 = strauxiliar2 + Mid(strauxiliar, 1, 1)
        strauxiliar = Mid(strauxiliar, 2, Len(strauxiliar) - 1)
    End While
    strauxiliar = Mid(strauxiliar, 2, Len(strauxiliar) - 1)
    If CheckBox_Offset_ADC_Sensores.CheckState = CheckState.Checked Then
        MaskedTextBox_offset_ADC_STD.Text = strauxiliar2 * 0.01
    End If
End Using
Catch ex As Exception
    MsgBox("Erro a abrir o ficheiro" & vbCrLf & ex.Message)
End Try

End Sub

Private Sub Button17_Click(sender As Object, e As EventArgs) Handles Button_Abrir_Pasta.Click
    Try
        FolderBrowserDialog1.ShowDialog()
        Label31.Text = FolderBrowserDialog1.SelectedPath()
        FileSystemWatcher1.Path = FolderBrowserDialog1.SelectedPath()
        Dim aux As String = ""
        ListBox2.Items.Clear()
        For Each foundFile As String In
My.Computer.FileSystem.GetFiles(FolderBrowserDialog1.SelectedPath)
            aux = Mid(foundFile, Len(FolderBrowserDialog1.SelectedPath.ToString) + 1, (
                Len(foundFile) - Len(FolderBrowserDialog1.SelectedPath.ToString)))
            aux = aux.TrimStart("\")
            If aux.EndsWith(".patins") Then
                ListBox2.Items.Add(aux)
            End If
        Next
    Catch ex As Exception
        MsgBox("Não foi possível selecionar um caminho" & vbCrLf & ex.Message)
    End Try
End Sub

```

```

Private Sub FileSystemWatcher1_Changed(sender As Object, e As FileSystemEventArgs) Handles
FileSystemWatcher1.Changed, FileSystemWatcher1.Deleted, FileSystemWatcher1.Created
    Dim aux As String = ""
    ListBox2.Items.Clear()
    For Each foundFile As String In
My.Computer.FileSystem.GetFiles(FolderBrowserDialog1.SelectedPath)
        aux = Mid(foundFile, Len(FolderBrowserDialog1.SelectedPath.ToString) + 1, (
            Len(foundFile) - Len(FolderBrowserDialog1.SelectedPath.ToString)))
        aux = aux.TrimStart("\")
        If aux.EndsWith(".patins") Then
            ListBox2.Items.Add(aux)
        End If
    Next
End Sub

Private Sub Button18_Click(sender As Object, e As EventArgs) Handles Button_Apagar_ficheiro.Click
    Try
        Dim ficheiro As String = " "
        If FolderBrowserDialog1.SelectedPath.ToString.EndsWith("\") Then
            ficheiro = FolderBrowserDialog1.SelectedPath.ToString + ListBox2.SelectedItem.ToString()
        Else
            ficheiro = FolderBrowserDialog1.SelectedPath.ToString + "\" + ListBox2.SelectedItem.ToString()
        End If
        My.Computer.FileSystem.DeleteFile(ficheiro,
        Microsoft.VisualBasic.FileIO.UIOption.AllDialogs,
        Microsoft.VisualBasic.FileIO.RecycleOption.SendToRecycleBin)
    Catch ex As Exception
        MsgBox("Não foi possível efectuar a operação" & vbCrLf & ex.Message)
    End Try

End Sub

Private Sub TextBox_nome_ficheiro_TextChanged(sender As Object, e As EventArgs) Handles
TextBox_nome_ficheiro.TextChanged
    If Not System.Text.RegularExpressions.Regex.IsMatch(TextBox_nome_ficheiro.Text.ToString, "[a-
zA-Z0-9]+$") Then
        TextBox_nome_ficheiro.Text = "Utilizador1"
    End If
    If ListBox2.Items.Contains(TextBox_nome_ficheiro.Text + ".patins") Then
        ListBox2.SelectedItem = TextBox_nome_ficheiro.Text + ".patins"
    End If
End Sub

Private Sub ListBox2_SelectedIndexChanged(sender As Object, e As EventArgs) Handles
ListBox2.SelectedIndexChanged
    Try
        TextBox_nome_ficheiro.Text = Mid(ListBox2.SelectedItem.ToString, 1,
        Len(ListBox2.SelectedItem.ToString) - 7)
    Catch ex As Exception
        'Nada
    End Try
End Sub
End Class

```

Algoritmo de programação do microcontrolador – pic.c

```

/*****
/*
/*          IPT 2013
/*      Controlador Patins Eletricos
/*
/*          11158 Luís Pereira
/*
/*
*****/

// Opção PWM ou LCD
#define PWM 1 // Utilizar valor: 1 para PWM ; 0 para LCD

// Opção do nr de ciclos no main entre cada renovação do LCD
#define ciclos_LCD 2500

// Opção RS232
#define RS232 1 // Utilizar o valor 1 para habilitar o envio para o PC

//Período de amostragem
#define T 0.100 // 50ms

//Constantes do modelo patins
#define l_patins 0.5
#define c_patins 0.18
#define h 1.8
#define va_max 12.00

// Constantes do controlador PID para a componente tangente à trajectória
#define KpX_predefinido 0.0 // 5.0
#define KiX_predefinido 0.0 // 22.0
#define KdX_predefinido 0.0 // 3.0
#define Componente_tangencial_max va_max

// Constantes do controlador PID para a componente perpendicular à trajectória
#define KpY_predefinido 0.0 //5.5
#define KiY_predefinido 0.0 // 0.6
#define KdY_predefinido 0.0 //
#define Componente_normal_max 0.5*Componente_tangencial_max

// Constantes do controlador PID para a componente de corrente
#define Corrente_inicial_erro_predefinido 8.0
#define Corrente_limite_predefinido 10.0
#define KpC_predefinido
(Componente_tangencial_max+Componente_normal_max)/(Corrente_limite_predefinido-
Corrente_inicial_erro_predefinido)
#define KiC_predefinido 0.05*KpC_predefinido
#define KdC_predefinido 0.0

//Constantes para gerar o PWM
#define saturacao_lim_superior 12.0
#define saturacao_lim_inferior 0.0
#define niveis_PWM1 160
#define niveis_EPWM1 160

```

```
// Amostragem TMR0
#define amostragem_TMR0 (65536-(T*500000))

//Constantes para gerar o PWM
#define ganho_PWM1 (niveis_PWM1/saturacao_lim_superior)
#define ganho_EPWM1 (niveis_EPWM1/saturacao_lim_superior)

//*****

// Bibliotecas
#include <p18f458.h>
#include <stdio.h>
#include <stdlib.h>
#include <delays.h>
#include <timers.h>
#include <math.h>
#include <usart.h>
#include <adc.h>
#include <pwm.h>
#include <portb.h>

// Configurações iniciais
#pragma config OSC=HS
#pragma config WDT=OFF
#pragma config LVP=OFF

// Protótipos de funções
void ini(void);
void tempo(void);
void LCD_Clear (void);
void LCD_init (void);
void LCD_display (unsigned char line, unsigned char position,
    const char *text);
void ConfigPWM(void);

// Variáveis globais
//Entradas Analogicas
int an1=0; // ADC Frente Esquerda (RA1)
int an2=0; // ADC Traseira Esquerda (RA2)
int an3=0; // ADC Frente Direita (RA3)
int an4=0; // ADC Traseira Direita (RA5)
int an5=0; // ADC Sonda de Corrente Patim Direito
int an6=0; // ADC Sonda de Corrente Patim Esquerdo

//Offset dos sensores (aplicavel ao ADC)
int OffsetFE=137;
int OffsetTE=137;
int OffsetFD=137;
int OffsetTD=137;

//Ganho dos sensores
float GanhoFE=0.1;
float GanhoFD=0.1;
float GanhoTE=0.1;
float GanhoTD=0.1;

// Força aplicada nos sensores
float sensorFE=0.0; // Sinal Sensor Frente Esquerda
```

```

float sensorTE=0.0; // Sinal Sensor Traseira Esquerda
float sensorFD=0.0; // Sinal Sensor Frente Direita
float sensorTD=0.0; // Sinal Sensor Traseira Direita
float F_sensores=980.0; // Total da força nos sensores

//Controlador tangencial
float KpX=KpX_predefinido;
float KiX=KiX_predefinido;
float KdX=KdX_predefinido;
float limite_X=99.99;

//Controlador normal
float KpY=KpY_predefinido;
float KiY=KiY_predefinido;
float KdY=KdY_predefinido;
float limite_Y=99.99;
float V_Kp_R=0.01; //Realimentação com o pé no ar

//Controlador de corrente
float KpC=KpC_predefinido;
float KiC=KiC_predefinido;
float KdC=KdC_predefinido;
float Corrente_inicial_erro=Corrente_inicial_erro_predefinido;
float Corrente_limite=Corrente_limite_predefinido;
float CC_Ki_perc=0.05;
float CC_Kp_R=0.1;

//Ângulos do modelo
float theta_i;
float theta_i_ant1;
float theta_i_ant2;
float theta_k;
float theta_k_ant1;
float theta_k_ant2;

//Correntes nos patins
float i_pe;
float i_pe_ant1;
float i_pe_ant2;
float i_pd;
float i_pd_ant1;
float i_pd_ant2;

// Equação de diferenças
float ganho_eq_act=0.0;
float ganho_eq_ant1=0.0;
float ganho_eq_ant2=0.0;
float u_theta_i=0.0; // Sinal na saída do controlador da componente tangencial
float u_theta_i_ant1=0.0; // Sinal anterior na saída do controlador da componente tangencial
float u_theta_k=0.0; // Sinal na saída do controlador da componente normal
float u_theta_k_ant1=0.0; // Sinal anterior na saída do controlador da componente normal
float u_i_pd=0.0; // Sinal na saída do controlador de corrente do patim direito
float u_i_pd_ant1=0.0; // Sinal anterior na saída do controlador de corrente do patim direito
float u_i_pe=0.0; // Sinal na saída do controlador de corrente do patim esquerdo
float u_i_pe_ant1=0.0; // Sinal anterior na saída do controlador de corrente do patim esquerdo

// Variáveis auxiliares para o PWM
float Patim_esq=0; // Sinal patim esquerdo

```



```

float Patim_dir=0; // Sinal patim direito
int PWM_esq=0; // Valor de factor de ciclo esquerdo
int PWM_dir=0; // Valor de factor de ciclo direito

// Variaveis auxiliares para a comunicação com o PC
char str_usart[28]="ABCDEFGHJKLMNOPQZAW12345AB"; // String para envio por RS232
int contador_usart=1;
char bytes_recebidos[33];
int contador_LCD=0;
int limite_max_pwm=98;

//Varias variaveis auxiliares
char conversao; // Auxiliar para conversão de inteiro para char
int auxiliar;
int auxiliar2;
int auxiliar3;
float auxfloat;
char straux[5];

//interrupção de tempo
#pragma interrupt tempo
void tempo(void)
{
    WriteTimer0(amostragem_TMR0); // 40536 a 50ms

    // Lê as portas analógicas ADC
    SetChanADC(ADC_CH1); // Sensor Frente Esquerda
    ConvertADC();
    while(BusyADC()){};
    an1=ReadADC();
    SetChanADC(ADC_CH2); // Sensor Traseira Esquerda
    ConvertADC();
    while(BusyADC()){};
    an2=ReadADC();
    SetChanADC(ADC_CH3); // Sensor Frente Direita
    ConvertADC();
    while(BusyADC()){};
    an3=ReadADC();
    SetChanADC(ADC_CH4); // Sensor Traseira Direita
    ConvertADC();
    while(BusyADC()){};
    an4=ReadADC();
    SetChanADC(ADC_CH5); // Sonda de Corrente Patim Direito
    ConvertADC();
    while(BusyADC()){};
    an5=ReadADC();
    SetChanADC(ADC_CH6); // Sonda de corrente Patim Esquerdo
    ConvertADC();
    while(BusyADC()){};
    an6=ReadADC();

    //Offset e ganho dos sensores
    sensorFE=GanhoFE*(an1-OffsetFE);
    sensorTE=GanhoTE*(an2-OffsetTE);
    sensorFD=GanhoFD*(an3-OffsetFD);
    sensorTD=GanhoTD*(an4-OffsetTD);

    //Calculo do total da força aplicada sobre os sensores

```

```

F_sensores=0.0;
if (sensorFE>0.0) F_sensores=F_sensores+sensorFE;
if (sensorFD>0.0) F_sensores=F_sensores+sensorFD;
if (sensorTE>0.0) F_sensores=F_sensores+sensorTE;
if (sensorTD>0.0) F_sensores=F_sensores+sensorTD;
if (F_sensores<200.0) F_sensores=200.0; // Evita divisão por zero no calculo dos ângulos no caso
de não nenhuma força aplicada

//Calculo dos ângulos
theta_i_ant2=theta_i_ant1;
theta_i_ant1=theta_i;
theta_i=(l_patins/h)*(sensorFD+sensorTD-sensorFE-sensorTE)/F_sensores;
theta_k_ant2=theta_k_ant1;
theta_k_ant1=theta_k;
theta_k=(c_patins/h)*(sensorFD-sensorTD+sensorFE-sensorTE)/F_sensores;

//Calculo das correntes nos patins
i_pe_ant2=i_pe_ant1;
i_pe_ant1=i_pe;
i_pe=(2.5 - (5.0 * an6/ 1024) ) / 0.0417;
i_pd_ant2=i_pd_ant1;
i_pd_ant1=i_pd;
i_pd=(2.5 - (5.0 * an5/ 1024) ) / 0.0417;

// Equação de diferenças do controlador de theta_k
ganho_eq_act=(KpX+((KiX*T)/2)+(KdX/T));
ganho_eq_ant1=((((KiX*T)/2)-KpX)-((KdX*2)/T));
ganho_eq_ant2=(KdX/T);
u_theta_k_ant1=u_theta_k;
u_theta_k=u_theta_k_ant1+ganho_eq_act*theta_k+ganho_eq_ant1*theta_k_ant1+ganho_eq_ant2*t
heta_k_ant2;
if(u_theta_k>Componente_tangencial_max) u_theta_k=Componente_tangencial_max;
if(u_theta_k<-Componente_normal_max/2) u_theta_k=-Componente_normal_max/2;
if (u_theta_k>(limite_X/100.0)*Componente_tangencial_max)
u_theta_k=(limite_X/100.0)*Componente_tangencial_max;
if (u_theta_k<-(limite_X/100.0)*Componente_normal_max/2) u_theta_k=-
(limite_X/100.0)*Componente_normal_max/2;

// Equação de diferenças do controlador de theta_i
ganho_eq_act=(KpY+((KiY*T)/2)+(KdY/T));
ganho_eq_ant1=((((KiY*T)/2)-KpY)-((KdY*2)/T));
ganho_eq_ant2=(KdY/T);
u_theta_i_ant1=u_theta_i;
if ((sensorTE+sensorFE<-5.0) || (sensorTD+sensorFD<-5.0)) // Um dos pés no ar
{
    u_theta_i=u_theta_i_ant1*((100.0-V_Kp_R)/100.0);
}
else
{
    u_theta_i=u_theta_i_ant1+ganho_eq_act*theta_i+ganho_eq_ant1*theta_i_ant1+ganho_eq_ant2*theta
a_i_ant2;
}
if(u_theta_i>Componente_normal_max/2) u_theta_i=Componente_normal_max/2;
if(u_theta_i<-Componente_normal_max/2) u_theta_i=-Componente_normal_max/2;
if (u_theta_i>(limite_Y/100.0)*Componente_normal_max/2)
u_theta_i=(limite_Y/100.0)*Componente_normal_max/2;

```

```

        if(u_theta_i<-(limite_Y/100.0)*Componente_normal_max/2) u_theta_i=-
        (limite_Y/100.0)*Componente_normal_max/2;

        // Equação de diferenças do controlador de i_pe
        ganho_eq_act=(KpC+((KiC*T)/2)+(KdC/T));
        ganho_eq_ant1=(((KiC*T)/2)-KpC)-((KdC*2)/T));
        ganho_eq_ant2=(KdC/T);
        u_i_pe_ant1=u_i_pe;
        if(i_pe<Corrente_inicial_erro)
        {
            u_i_pe=u_i_pe_ant1*((100.0-CC_Kp_R)/100.0);
        }
        else
        {
            u_i_pe=u_i_pe_ant1+ganho_eq_act*(i_pe-
            Corrente_inicial_erro)+ganho_eq_ant1*(i_pe_ant1-Corrente_inicial_erro)+ganho_eq_ant2*(i_pe_ant2-
            Corrente_inicial_erro);
        }
        if(i_pe>45.00) u_i_pe=0.0; // A Sonda não tem alimentação de corrente
        if(u_i_pe<u_i_pe_ant1*((100.0-CC_Kp_R)/100.0)) u_i_pe=u_i_pe_ant1*((100.0-
        CC_Kp_R)/100.0);
        if(u_i_pe>(Componente_tangencial_max+Componente_normal_max))
        u_i_pe=(Componente_tangencial_max+Componente_normal_max);
        if(u_i_pe<0.0) u_i_pe=0.0;

        //Equação de diferenças do controlador de i_pd
        u_i_pd_ant1=u_i_pd;
        if(i_pd<Corrente_inicial_erro)
        {
            u_i_pd=u_i_pd_ant1*((100.0-CC_Kp_R)/100.0);
        }
        else
        {
            u_i_pd=u_i_pd_ant1+ganho_eq_act*(i_pd-
            Corrente_inicial_erro)+ganho_eq_ant1*(i_pd_ant1-Corrente_inicial_erro)+ganho_eq_ant2*(i_pd_ant2-
            Corrente_inicial_erro);
        }
        if(i_pd>45.00) u_i_pd=0.0; // A Sonda não tem alimentação de corrente
        if(u_i_pd<u_i_pd_ant1*((100.0-CC_Kp_R)/100.0)) u_i_pd=u_i_pd_ant1*((100.0-
        CC_Kp_R)/100.0);
        if(u_i_pd>(Componente_tangencial_max+Componente_normal_max))
        u_i_pd=(Componente_tangencial_max+Componente_normal_max);
        if(u_i_pd<0.0) u_i_pd=0.0;

        // Sinal de Comando dos patins
        Patim_esq=u_theta_k+u_theta_i-u_i_pe-u_i_pd;
        Patim_dir=u_theta_k-u_theta_i-u_i_pe-u_i_pd;

        // Aplicação dos limites de saturação
        if(Patim_esq>saturacao_lim_superior) Patim_esq=saturacao_lim_superior;
        if(Patim_esq<saturacao_lim_inferior) Patim_esq=saturacao_lim_inferior;
        if(Patim_dir>saturacao_lim_superior) Patim_dir=saturacao_lim_superior;
        if(Patim_dir<saturacao_lim_inferior) Patim_dir=saturacao_lim_inferior;

        // Aplicação do ganho dos factores de ciclo
        Patim_esq=ganho_PWM1*Patim_esq;
        Patim_dir=ganho_EPWM1*Patim_dir;
        if(Patim_dir<0) Patim_dir=0;
    
```

```

    if (Patim_esq<0) Patim_esq=0;
    if ((Patim_dir*100/niveis_EPWM1)>limite_max_pwm)
Patim_dir=limite_max_pwm*niveis_EPWM1/100;
    if ((Patim_esq*100/niveis_PWM1)>limite_max_pwm)
Patim_esq=limite_max_pwm*niveis_PWM1/100;

    // Conversão do valor das variaveis dos patins para inteiro
    Patim_esq=Patim_esq+0.5; // Soma-se 0.5 para que a conversão seja feita para o inteiro mais
próximo
    PWM_esq=(int) Patim_esq;
    Patim_dir=Patim_dir+0.5; // Soma-se 0.5 para que a conversão seja feita para o inteiro mais
próximo
    PWM_dir=(int) Patim_dir;

    // Limitação no PWM para evitar a descarga dos condensadores de bootstrap
    if (PWM_esq>(niveis_PWM1-1)) PWM_esq=(niveis_PWM1-1);
    if (PWM_dir>(niveis_EPWM1-1)) PWM_dir=(niveis_EPWM1-1);

    // Aplicação do sinal para gerar o PWM de cada um dos patins
    if (PWM==1)
    {
        SetDCPWM1(PWM_esq);
        SetDCEPWM1(PWM_dir);
    }

    // Envia a string por USART
    if (RS232==1)
    {
        // Coloca na string de caracteres os valores a enviar para o PC
        auxiliar=an1>>5;
        auxiliar=auxiliar+33;
        str_usart[2]=auxiliar;
        auxiliar=an1&31;
        auxiliar=auxiliar+33;
        str_usart[3]=auxiliar;
        auxiliar=an2>>5;
        auxiliar=auxiliar+33;
        str_usart[4]=auxiliar;
        auxiliar=an2&31;
        auxiliar=auxiliar+33;
        str_usart[5]=auxiliar;
        auxiliar=an3>>5;
        auxiliar=auxiliar+33;
        str_usart[6]=auxiliar;
        auxiliar=an3&31;
        auxiliar=auxiliar+33;
        str_usart[7]=auxiliar;
        auxiliar=an4>>5;
        auxiliar=auxiliar+33;
        str_usart[8]=auxiliar;
        auxiliar=an4&31;
        auxiliar=auxiliar+33;
        str_usart[9]=auxiliar;
        auxiliar=an5>>5;
        auxiliar=auxiliar+33;
        str_usart[10]=auxiliar;
        auxiliar=an5&31;
        auxiliar=auxiliar+33;
    }

```

```

    str_usart[11]=auxiliar;
    auxiliar=an6>>5;
    auxiliar=auxiliar+33;
    str_usart[12]=auxiliar;
    auxiliar=an6&31;
    auxiliar=auxiliar+33;
    str_usart[13]=auxiliar;
    str_usart[14]=contador_usart+33;
    auxiliar=PWM_esq>>5;
    auxiliar=auxiliar+33;
    str_usart[15]=auxiliar;
    auxiliar=PWM_esq&31;
    auxiliar=auxiliar+33;
    str_usart[16]=auxiliar;
    auxiliar=PWM_dir>>5;
    auxiliar=auxiliar+33;
    str_usart[17]=auxiliar;
    auxiliar=PWM_dir&31;
    auxiliar=auxiliar+33;
    str_usart[18]=auxiliar;
    auxfloat=u_theta_k+20.0;
    auxiliar=(int) auxfloat;
    auxiliar2=(int) (100.0*(auxfloat-auxiliar));
    auxiliar=auxiliar+33;
    auxiliar2=auxiliar2+33;
    str_usart[19]=auxiliar;
    str_usart[20]=auxiliar2;
    auxfloat=u_theta_i+20.0;
    auxiliar=(int) auxfloat;
    auxiliar2=(int) (100.0*(auxfloat-auxiliar));
    auxiliar=auxiliar+33;
    auxiliar2=auxiliar2+33;
    str_usart[21]=auxiliar;
    str_usart[22]=auxiliar2;
    auxfloat=(u_i_pd+u_i_pe)+20.0;
    auxiliar=(int) auxfloat;
    auxiliar2=(int) (100.0*(auxfloat-auxiliar));
    auxiliar=auxiliar+33;
    auxiliar2=auxiliar2+33;
    str_usart[23]=auxiliar;
    str_usart[24]=auxiliar2;
    putsUSART(str_usart);
    if (DataRdyUSART())
    {
        bytes_recebidos[contador_usart-1]=getcUSART();
        contador_usart++;
        if (contador_usart==24 && bytes_recebidos[1]=='O' &&
bytes_recebidos[2]=='F' && bytes_recebidos[3]=='F' && bytes_recebidos[4]=='S' &&
bytes_recebidos[5]=='E' && bytes_recebidos[6]=='T') // Offset
        {
            //Offsets
            auxiliar=bytes_recebidos[7];
            auxiliar2=bytes_recebidos[8];
            OffsetFE=(auxiliar-60)*64+auxiliar2-60;
            auxiliar=bytes_recebidos[9];
            auxiliar2=bytes_recebidos[10];
            OffsetFD=(auxiliar-60)*64+auxiliar2-60;
            auxiliar=bytes_recebidos[11];

```

```

    auxiliar2=bytes_recebidos[12];
    OffsetTE=(auxiliar-60)*64+auxiliar2-60;
    auxiliar=bytes_recebidos[13];
    auxiliar2=bytes_recebidos[14];
    OffsetTD=(auxiliar-60)*64+auxiliar2-60;

    //Ganhos
    auxiliar=bytes_recebidos[15]-10;
    auxiliar2=bytes_recebidos[16]-10;
    GanhoFE=auxiliar+0.01*auxiliar2;
    auxiliar=bytes_recebidos[17]-10;
    auxiliar2=bytes_recebidos[18]-10;
    GanhoFD=auxiliar+0.01*auxiliar2;
    auxiliar=bytes_recebidos[19]-10;
    auxiliar2=bytes_recebidos[20]-10;
    GanhoTE=auxiliar+0.01*auxiliar2;
    auxiliar=bytes_recebidos[21]-10;
    auxiliar2=bytes_recebidos[22]-10;
    GanhoTD=auxiliar+0.01*auxiliar2;
}

    if (contador_usart==16 && bytes_recebidos[1]=='L' &&
bytes_recebidos[2]=='T' && bytes_recebidos[3]=='M' && bytes_recebidos[4]=='T' &&
bytes_recebidos[5]=='T' && bytes_recebidos[6]=='E' && bytes_recebidos[7]=='F' &&
bytes_recebidos[8]=='C') // Limite FC
    {
        auxiliar=bytes_recebidos[9];
        auxiliar=auxiliar-10;
        limite_max_pwm=auxiliar;
    }

    if (contador_usart==32 && bytes_recebidos[1]=='T' &&
bytes_recebidos[2]=='C' && bytes_recebidos[29]=='T' && bytes_recebidos[30]=='C')
    {
        //Controlador tangencial
        auxiliar=bytes_recebidos[3]-10;
        auxiliar2=bytes_recebidos[4]-10;
        KpX=auxiliar+0.01*auxiliar2;
        auxiliar=bytes_recebidos[5]-10;
        auxiliar2=bytes_recebidos[6]-10;
        KiX=auxiliar+0.01*auxiliar2;
        auxiliar=bytes_recebidos[7]-10;
        auxiliar2=bytes_recebidos[8]-10;
        KdX=auxiliar+0.01*auxiliar2;
        auxiliar=bytes_recebidos[9]-10;
        auxiliar2=bytes_recebidos[10]-10;
        limite_X=auxiliar+0.01*auxiliar2;

        //Controlador normal
        auxiliar=bytes_recebidos[11]-10;
        auxiliar2=bytes_recebidos[12]-10;
        KpY=auxiliar+0.01*auxiliar2;
        auxiliar=bytes_recebidos[13]-10;
        auxiliar2=bytes_recebidos[14]-10;
        KiY=auxiliar+0.01*auxiliar2;
        auxiliar=bytes_recebidos[15]-10;
        auxiliar2=bytes_recebidos[16]-10;
        KdY=auxiliar+0.01*auxiliar2;
    }

```

```

    auxiliar=bytes_recebidos[17]-10;
    auxiliar2=bytes_recebidos[18]-10;
    limite_Y=auxiliar+0.01*auxiliar2;

    //Controlador corrente
    auxiliar=bytes_recebidos[19]-10;
    auxiliar2=bytes_recebidos[20]-10;
    Corrente_inicial_erro=auxiliar+0.01*auxiliar2;
    auxiliar=bytes_recebidos[21]-10;
    auxiliar2=bytes_recebidos[22]-10;
    Corrente_limite=auxiliar+0.01*auxiliar2;
    auxiliar=bytes_recebidos[23]-10;
    auxiliar2=bytes_recebidos[24]-10;
    CC_Kp_R=auxiliar+0.01*auxiliar2;
    auxiliar=bytes_recebidos[25]-10;
    auxiliar2=bytes_recebidos[26]-10;
    V_Kp_R=auxiliar+0.01*auxiliar2;
    auxiliar=bytes_recebidos[27]-10;
    auxiliar2=bytes_recebidos[28]-10;
    CC_Ki_perc=auxiliar+0.01*auxiliar2;

    KpC=(Componente_tangencial_max+Componente_normal_max)/(Corrente_limite-
    Corrente_inicial_erro);

    KiC=(CC_Ki_perc/100.0)*KpC;
    }

    if (contador_usart>32)
    {
        contador_usart=1;
    }

    else
    {
        contador_usart=1;
    }
}

INTCONbits.TMR0IF=0; //Limpa a Flag da interrupção
}

//interrupção de externa 0
#pragma interrupt externa
void externa(void)
{

    // Zona de testes

    //Limpa a Flag da interrupção
    INTCONbits.INT0IF=0;
}

// Função de configuração do PWM
void ConfigPWM(void)
{
    // Para funções de PWM - consultar pagina 48 do pdf da biblioteca do compilador c18

```

```

    char period=39;
    //PWMperiod=[(period)+1]*4*TOSC*TMR2_PRESCALER ,Valores experimentais: 20kHz=49 ,
    21,2kHz=46 , 22,2kHz=44 , 25kHz=39 , 29,4kHz=33 , 33,3kHz=29
    TRISCbits.RC2=0; // Sinal PWM1 para o patim esquerdo
    TRISDbits.RD4=0; // Sinal EPWM1 para o patim direito
    OpenPWM1(period); // Sinal PWM1 em RC2
    SetOutputPWM1 (SINGLE_OUT, PWM_MODE_1);
    OpenEPWM1(period); // Sinal EPWM1 em RD4
    SetOutputEPWM1(SINGLE_OUT, PWM_MODE_1);
}

// Vector das interrupções de prioridade alta
#pragma code high_vector=0x08
void interrup_at_high_vector(void)
{
    if (INTCONbits.INT0IF) // flag interrupção externa
    {
        _asm GOTO externa _endasm
    }
    if (INTCONbits.TMR0IF) // flag interrupção de tempo
    {
        _asm GOTO tempo _endasm
    }
}
#pragma code

// Função Main
void main(void)
{
    TRISBbits.RB0=1; // Interrupção externa 0
    TRISBbits.RB1=0;
    INTCONbits.GIE=1; // habilita globalmente as interrupções
    RCONbits.IPEN=0; // sem prioridades

    // Opção LCD ou PWM
    if (PWM==0) LCD_init();
    if (PWM==1) ConfigPWM();

    // Configuração da interrupção de tempo do timer0
    OpenTimer0(TIMER_INT_ON & T0_16BIT & T0_SOURCE_INT & T0_PS_1_2);
    // Timer0 da interrupção de tempo
    WriteTimer0(amostragem_TMR0); // Inicialização do
temporizador

    // Configuração da interrupção externa INT0
    OpenRB0INT(PORTB_CHANGE_INT_ON&RISING_EDGE_INT&PORTB_PULLUPS_ON);

    // Comunicação USART
    if (RS232==1) OpenUSART(USART_TX_INT_OFF & USART_RX_INT_ON &
USART_ASYNC_MODE & USART_EIGHT_BIT & USART_CONT_RX & USART_BRGH_HIGH,12);
//25 para 9600bps e 12 para 19200bps

    // Configuração do ADC
    ADCON1=0x00; // Todos os pinos em RBA configurados como entradas analógicas

    OpenADC(ADC_FOSC_8&ADC_RIGHT_JUST&ADC_1ANA_0REF,ADC_CH0&ADC_INT_O
FF);

```



```

while(1)
{
    if (PWM==0)
    {
        if (contador_LCD==ciclos_LCD)
        {
            // Renova LCD
            LCD_Clear();
            auxiliar3=100*u_i_pd;
            itoa(auxiliar3,straux);
            LCD_display(1,1,straux);
            auxiliar3=100*u_i_pe;
            itoa(auxiliar3,straux);
            LCD_display(1,8,straux);
            auxiliar3=100*u_theta_i;
            itoa(auxiliar3,straux);
            LCD_display(2,1,straux);
            auxiliar3=100*u_theta_k;
            itoa(auxiliar3,straux);
            LCD_display(2,8,straux);
            contador_LCD=0;
        }
        else
        {
            contador_LCD++;
        }
    }
}

```